

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Н.Н. РАХИМОВА, Л.Г. ПРОСКУРИНА, Е.А. КОЛОБОВА

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ. НОРМИРОВАНИЕ. МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Оренбургский государственный
университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по
программам высшего профессионального образования по специальности
280101.65 «Безопасность жизнедеятельности»

Оренбург 2009

УДК 628.517.2 (076.5)

ББК 30ня7

Р 27

Рецензент

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Ш.Ш. Хисматуллин

Рахимова Н.Н.

Р 27

Производственный шум. Нормирование. Методы снижения шума: учебное пособие/ Н.Н. Рахимова, Л.Г. Проскурина, Е.А. Колобова. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. - 106 с.

Учебное пособие предназначено для обеспечения четкой организации проведения лекций и практических занятий по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» и получения навыков по оформлению отчетов.

Учебное пособие рекомендовано для обучения студентов всех специальностей.

ББК 30ня7

© Рахимова Н.Н.,
Проскурина Л.Г.,
Колобова Е.А., 2009

© ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

Введение	5
1 Шум как неблагоприятный акустический фактор производства.....	6
1.1 Физические характеристики шума	6
1.2 Гигиеническая характеристика шума	11
1.3 Профилактические мероприятия.....	14
1.4 Гигиеническое нормирование шума.....	18
2 Расчет суммарного уровня звукового давления. Определение требуемого уровня снижения шума.....	24
2.1 Методика расчета.....	24
3 Методы борьбы с шумом.....	28
3.1 Выбор мероприятий по снижению шума.....	28
3.2 Снижение интенсивности звука при увеличении расстояния от источника шума до рабочего места.....	29
3.2.1 Методика расчета.....	29
3.3 Акустическая обработка помещений.....	31
3.3.1 Методика расчета.....	31
3.4 Звукоизолирующие ограждения.....	46
3.4.1 Методика расчета.....	46
3.5 Звукоизолирующие кожухи.....	53
3.5.1 Методика расчета.....	53
3.6 Акустические экраны.....	56
3.6.1 Методика расчета.....	56
Список использованных источников.....	62
Приложение А. Таблица А.1 – Предельно допустимые уровни звукового давления и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест СН 2.2.4/2.1.8.562-96.....	63
Приложение Б. Варианты для решения задач 1,2,3.....	69
Приложение В. Варианты для задачи 4,5,6.....	71
Приложение Г. Таблица Г.1 – Задача 5 (расчет суммарного уровня шума и определение требуемого уровня снижения шума).....	73
Приложение Д. Таблица Д.1 – Варианты для задачи 6.....	74
Приложение Е. Таблица Е.1 – Задача 6 (расчет снижения шума за счет увеличения расстояния от источника шума до рабочего места).....	75
Приложение Ж. График зависимости постоянной помещения (B) от его объема (V).....	76
Приложение И. Таблица И.1 – Коэффициенты звукопоглощения акустических материалов.....	77

Приложение К. Номограмма для расчета ΔA_{mp}	79
Приложение Л. Таблица Л.1 - Варианты задачи 7.....	80
Приложение М. Таблица М.1 – Задача 7 (расчет акустической обработки помещений).....	85
Приложение Н. Таблица Н.1 – Задача 8 (расчет площади звукопоглощающей облицовки).....	86
Приложение П. Таблица П.1 - Варианты задачи 9.....	87
Приложение Р. Таблица Р.1 – Задача 9 (расчет эффективности звукопоглощающей облицовки).....	88
Приложение С. Таблица С.1 – Звукоизолирующая способность стен и перегородок.....	90
Приложение Т. Таблица Т.1 - Варианты задачи 10.....	92
Приложение У. Таблица У.1 – Варианты задачи 11.....	93
Приложение Ф. Таблица Ф.1 - Задача 11 (расчет звукоизолирующего ограждения).....	97
Приложение Х. График звукоизоляции пластины.....	99
Приложение Ц. Таблица Ц.1 - Варианты задачи 12.....	100
Приложение Ш. Таблица Ш.1 – Задача 12 (расчет звукоизолирующего кожуха).....	101
Приложение Щ. Таблица Щ.1 - Варианты задачи 13.....	102
Приложение Э. Таблица Э.1 – Задача 13 (расчет акустического экрана).....	104
Приложение Ю. Таблица Ю.1 - Варианты задачи 14.....	105
Приложение Я. Таблица Я.1 – Задача 14 (расчет снижения шума в помещении за счет акустического экрана).....	106

Введение

В биологическом отношении шум является заметным стрессовым фактором, способным вызвать срыв приспособительных реакций. Акустический стресс может приводить к разным проявлениям: от функциональных нарушений регуляции ЦНС до морфологически обозначенных дегенеративных деструктивных процессов в разных органах и тканях. Степень шумовой патологии зависит от интенсивности и продолжительности воздействия, функционального состояния ЦНС, от индивидуальной чувствительности организма к акустическому раздражителю.

Интенсивный шум на производстве способствует снижению внимания и увеличению числа ошибок при выполнении работы, исключительно сильное влияние оказывает шум на быстроту реакции, сбор информации и аналитические процессы, из-за шума снижается производительность труда и ухудшается качество работы. Шум затрудняет своевременную реакцию работающих на предупредительные сигналы, что способствует возникновению несчастных случаев на производстве.

Шум, даже когда он невелик (при уровне от 50 до 60 дБА), создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывает на него психологическое воздействие. Слабый шум различно влияет на людей. Это зависит от возраста, здоровья, вида труда, физического и душевного состояния.

Известно, что ряд таких серьезных заболеваний, как гипертоническая и язвенная болезни, неврозы, в ряде случаев желудочно-кишечные и кожные заболевания связаны с перенапряжением нервной системы в процессе труда и отдыха. Отсутствие необходимой тишины, особенно в ночное время, приводит к преждевременной усталости, а часто и к заболеванию. Так шум от 30 до 40 дБА в ночное время может явиться серьезным беспокоящим фактором. С увеличением уровней шума до 80 дБА и выше шум может оказать определенное физиологическое воздействие на человека. Под воздействием шума от 85 до 90 дБА снижается слуховая чувствительность (на высоких частотах).

Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Человек, работающий при шуме, привыкает к нему, но продолжительное действие сильного шума вызывает общее утомление. Слуховой анализатор через центральную нервную систему связан с различными органами жизнедеятельности человека, поэтому шум оказывает влияние на весь организм человека. Под влиянием сильного шума (от 90 до 100 дБА) притупляется острота зрения, появляются головные боли и головокружения, изменяются ритмы дыхания и сердечной деятельности, повышается внутричерепное и кровяное давление, нарушается процесс пищеварения, происходит изменение объема внутренних органов. Под действием шума высоких уровней (более 145 дБ) возможен разрыв барабанной перепонки, контузия, а при еще более высоких (более 160 дБА) и смерть.

1 Шум как неблагоприятный акустический фактор производства

Под шумом как гигиеническим фактором принято подразумевать совокупность слышимых звуков, неблагоприятно воздействующих на организм человека, мешающих его работе и отдыху. Ультразвук и инфразвук – это также совокупность звуков, но не слышимых человеком, однако оказывающих неблагоприятное энергетическое воздействие на человека.

По физической сущности звуки представляют собой волнообразно распространяющиеся механические колебательные движения частиц упругой среды (газовой, жидкой или твердой), имеющие, как правило, беспорядочный, случайный характер. Источником звука может быть любое колеблющееся материальное тело, выведенное из устойчивого состояния покоя внешней силой.

Как и для всякого волнообразного колебательного движения, основными параметрами, характеризующими звук, являются амплитуда колебания (перемещения, давления, скорости и других переменных пара метров), скорость распространения и длина волны.

1.1 Физические характеристики шума

Непосредственно примыкающие к источнику колебания частицы упругой среды вовлекаются в колебательный процесс и смещаются, приходя в состояние ритмичного сгущения и разрежения. Этот процесс в силу упругости сплошной среды распространяется последовательно на смежные частицы в виде волны. Амплитуда колебания звучащего тела пропорциональна амплитуде смещения частиц проводящей среды, т.е. звукового давления. Последнее представляет собой переменное давление, возникающее дополнительно к атмосферному, в той среде, через которую проходят звуковые волны. Оно выражается в Па, т.е. в ньютонах на квадратный метр (Н/м^2). От величины звукового давления зависит интенсивность звука (шума).

Звуковая волна характеризуется периодом колебания T , измеряемым в секундах. Период колебания связан обратным отношением с частотой f ; т.е. $T = 1/f$.

Частота колебания (f) - число полных колебаний, совершенных в течение одной секунды. Единица измерения частоты герц (Гц) равна одному колебанию в секунду.

Для характеристики звука существенное значение имеет колебательная скорость частиц, т.е. определение мгновенного значения скорости колебательного движения среды при распространении в ней звуковой волны (единица измерения -

м/с). Расстояние, на которое в течение одной секунды может распространиться волновой процесс, называется скоростью звука (c). В воздухе при температуре 20°C и нормальном атмосферном давлении она равна 334 м/с , при повышении температуры примерно на $0,71\text{ м/с}$ на каждый градус.

Расстояние между двумя соседними сгущениями или разрежениями в звуковом поле характеризует длину волны λ , м. Длина волны связана с частотой f и скоростью c звука соотношением:

$$\lambda = c/f. \quad (1.1)$$

Распространение звуковых волн сопровождается переносом колебательной энергии в пространстве. Ее количество, проходящее через площадь в 1 м^2 , расположенную перпендикулярно направлению распространения звуковой волны, обуславливает интенсивность или силу звука I . Единица измерения – ватт на квадратный метр (Вт/м^2).

Частотный состав шума характеризует его спектр, т.е., совокупность входящих в него частот. По спектру устанавливается степень распределения звуковой энергии данного шума. Если в составе шума преобладают звуки с частотой колебания до 400 Гц , то шум относят к низкочастотному, при преобладании звуков с частотой в диапазоне от 400 до 1000 Гц – к среднечастотному, свыше 1000 Гц – к высокочастотному.

По величине интервалов между составляющими звуками шума различают дискретный (линейчатый) и сплошной шум. В первом случае отдельные составляющие звуки, входящие в спектр шума, разделены значительными интервалами, во втором – следуют друг за другом непрерывно с бесконечно малыми интервалами. Смешанный шум характеризуется отдельными пиковыми дискретными составляющими на фоне сплошного спектра.

По официальной классификации шумов, принятой в РФ (ГОСТ 12.1.003 – 83 Шум. Общие требования безопасности), шум следует подразделять по характеру спектра на широкополосные, с непрерывным спектром шириной более одной октавы, и тональные, в спектре которых имеются слышимые дискретные тона.

По временным характеристикам шум следует подразделять на постоянные, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется во времени незначительно, и непостоянные. Последние, в свою очередь, следует подразделять на колеблющиеся во времени, уровень звука которых непрерывно изменяется во времени; прерывистые, уровень звука которых резко падает до уровня фонового шума, причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным и превышающим уровень фонового шума, составляет 1 с и более; импульсные, состоящие из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый из них длительностью менее 1 с .

Распространение звуковых волн сопровождается появлением ряда акустических феноменов, имеющих важное значение для характеристики шумового фактора, его гигиенической оценки и выбора мер защиты.

При одновременном распространении в воздушной среде нескольких звуковых волн одинаковой частоты они могут приходить в точку пространства одновременно в одной фазе, повышая результирующую амплитуду колебаний, т.е. громкость звука. При совпадении противоположных фаз громкость звука снижается. Явление наложения волн называется интерференцией.

Звуковая волна, отраженная от препятствия на пути ее распространения, в случае, когда размеры препятствия меньше длины волны, огибает его, а при наличии щелей в преграде проникает через них. Процесс огибания звуковой волной препятствий конечных размеров называется дифракцией. Возникшие внутри замкнутых помещений звуковые волны, распространяются от источника, многократно отражаются от перекрытий, создавая условия для появления гулкости помещения. Процесс называется реверберацией.

В том случае, если внешняя сила, вызвав колебания системы, прекращает на нее действовать, эта система начинает колебаться со строго определенной собственной частотой колебания, зависящей от упругих и инерционных сил. В случае, когда частота колебаний внешней среды совпадает с собственными колебаниями системы, амплитуда резко возрастает. Это явление называется резонансом.

Зукопроводящая механическая система рецепторного отдела слухового анализатора способна реагировать и передавать звуковоспринимающей частью рецептора механические колебания среды, которые совершаются с частотой от 20 до 20000 колебаний в секунду (рисунок 1.1) с величиной звуковой энергии от 10^{-12} до 10^2 Вт/м² или от 2×10^{-5} до 2×10^2 Н/м² (Па).

Минимальная величина звуковой энергии, способная трансформироваться в нервный процесс, т.е. воспринимаемая ухом человека как звук называется слуховым порогом (порогом слышимости) и составляет 10^{-12} Вт/м². Звуковое давление, соответствующее этой величине, равно 2×10^{-5} Н/м² (Па). Высший предел, при котором воспринимаемый звук вызывает уже болевое ощущение, соответствует силе звука 10^2 Вт/м² (звуковое давление 20 Н/м²).

Способность слухового анализатора регистрировать огромный диапазон величин звуковых давлений объясняется тем, что различается не разность, а кратность изменения абсолютных величин (ступенчатость восприятия). Установлено, что каждая последующая ступень восприятия отличается от предыдущей на 12,4%. Поэтому для характеристики акустического феномена принята специальная измерительная система интенсивности и энергии шума, учитывающая приближенную логарифмическую зависимость между раздражением и слуховым восприятием, а именно шкала логарифмических единиц как наиболее

объективная и соответствующая физиологической сущности восприятия. По этой шкале каждая последующая ступень звуковой энергии больше предыдущей в 10 раз. Например, если интенсивность звука больше другого в 10, 10, 1000 раз, то по логарифмической шкале она соответствует увеличению на 1, 2, 3 единицы ($\lg 10 = 1$, $\lg 100 = 2$ и т.д.). Логарифмическая единица, отражающая десятикратную степень увеличения интенсивности звука над уровнем другого, называется в акустике белом (Б). Преимуществом логарифмической шкалы измерений является также и удобство пользования ею, так как использование в практике измерения шума огромного диапазона звуковой энергии в абсолютных величинах громоздко и не удобно. Логарифмические единицы позволяют оценить интенсивность звука не абсолютной величиной звукового давления, а ее уровнем т.е. отношением фактически создаваемого давления к давлению, принятому а единицу сравнения.

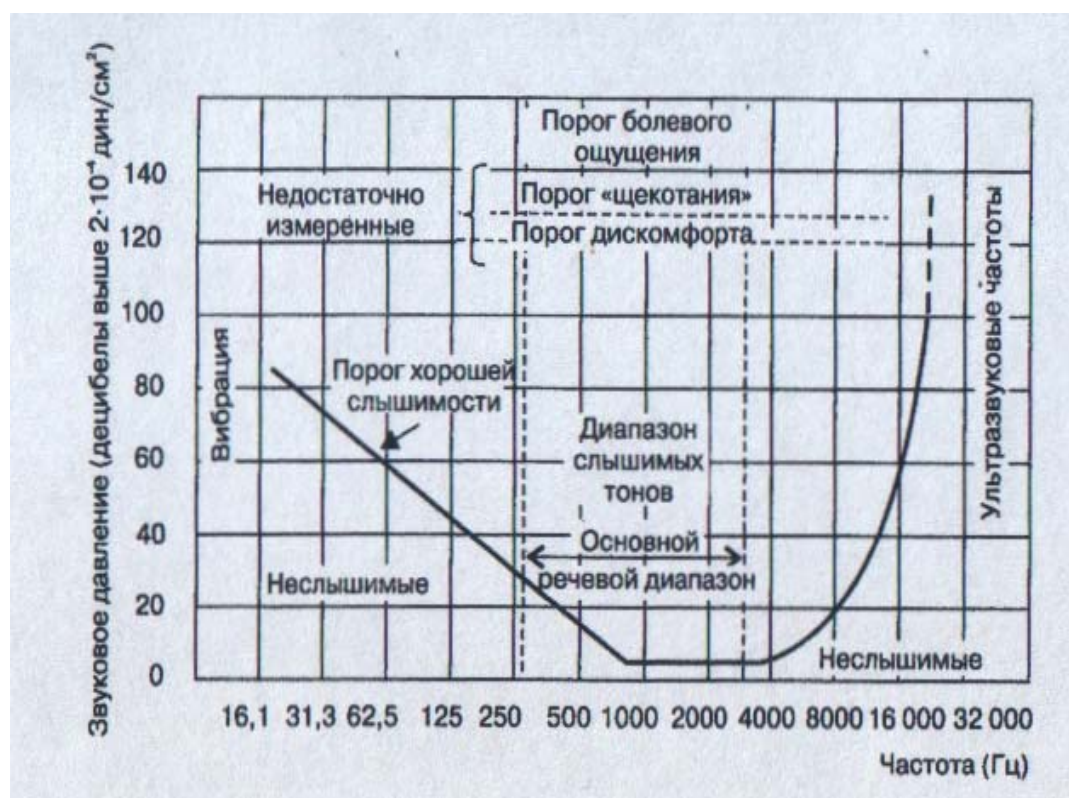


Рисунок 1.1 – Пороги слышимости звуков различной частоты и интенсивности

Такой единицей принято считать минимальное давление, которое человек воспринимает как звук на частоте 1000 Гц, а именно 2×10^{-5} Н/м². Весь диапазон энергии, воспринимаемой слухом как звук, укладывается при этих условиях от 13 до 14 Б. Для удобства пользуются не белом, а единицей, в 10 раз меньшей, - децибелом (дБ), которая соответствует примерно минимальному приросту силы звука, различаемого ухом. Таким образом, бел и децибел – это условные единицы, которые

показывают, насколько данный звук I в логарифмическом масштабе больше условного порога слышимости I_0 . Измеряемые таким образом величины называются уровнями L интенсивности шума или уровнями звукового давления.

Десятичный логарифм отношения двух интенсивностей звука I и I_0 называется уровнем интенсивности L_I , Б или дБ:

$$L_I = \lg I/I_0, \text{ Б, или } L_I = 10 \times \lg I/I_0, \text{ дБ.} \quad (1.2)$$

В настоящее время общепринято характеризовать интенсивность звука (шума) L_P , дБ в уровнях звукового давления, определяемых по формуле:

$$L_P = 20 \times \lg P/P_0, \quad (1.3)$$

где P – определяемая среднеквадратичная величина звукового давления, Па;
 P_0 – пороговая величина звукового давления (2×10^{-5} , Па).

Между уровнем интенсивности шума L_I и уровнем звукового давления L существует соотношение:

$$L_I = L + 10 \lg (\rho_0 c_0 / \rho c), \quad (1.4)$$

где ρ_0 , c_0 – плотность среды и скорость звука при нормальных атмосферных условиях;

ρ , c – измеренные плотность среды и скорость звука.

При нормальных атмосферных условиях $L_I = L$.

Оценка шума по уровню его звукового давления в дБ над пороговым уровнем справедлива лишь для принятого стандартного тона с частотой 1000 Гц. Для тонов других частот степени громкости шума и порог слышимости не совпадают при одинаковом приросте звуковой энергии со стандартным тоном, смещаясь либо в сторону повышения (пороги низких частот), либо некоторого снижения (пороги высоких частот). Это зависит от различной чувствительности слухового аппарата к различным акустическим частотам.

Ощущение громкости не совпадает также с раздражающим действием шума. На высоких частотах ощущение неприятности звука на 20 – 30 единиц превышает ощущение громкости.

1.2 Гигиеническая характеристика шума

В настоящее время шум становится одним из наиболее распространенных социально-гигиенических факторов внешней, в первую очередь производственной среды в связи с интенсификацией и механизацией технологических процессов, развитием дизелестроения, реактивной авиации, транспорта. Введение новых высокопроизводительных видов оборудования с постоянным увеличением скоростей движения машин и механизмов, широкое применение пневматического инструмента различного личного назначения расширение станочного парка создают предпосылки для возникновения новых источников интенсивного шума и усиления интенсивности его при интенсификации существующих ранее технологических процессов.

Несомненно, воздействие шума на организм может проявляться как в виде специфического поражения органа слуха, так и нарушений со стороны многих органов и систем.

К настоящему времени накоплены достаточно убедительные данные, позволяющие судить о характере и особенностях влияния шумового фактора на слуховую функцию. Течение функциональных изменений может иметь различные стадии. Кратковременное понижение остроты слуха под воздействием шума с быстрым восстановлением функции после прекращения действия фактора рассматривается как проявление адаптационной защитно-приспособительной реакции слухового органа. Адаптацией к шуму принято считать случаи временного понижения слуха не более чем на 10 – 15 дБ с восстановлением его в течение трех мин. после прекращения действия шума. Длительное воздействие интенсивного шума может приводить к перераздражению клеток звукового анализатора и его утомлению, а затем их стойкому снижению остроты слуха.

Действие шума на слух вызывает развитие тугоухости той или иной степени выраженности, а иногда и полной глухоты. Чаще изменение слуха развивается исподволь в течение 3 – 5 лет и более. Иногда люди обращаются с жалобами на трудность восприятия шепотной речи, плохую слышимость высокого голоса. Некоторые из них засыпают с трудом из-за звона или писка в ушах. При значительной потере слуха пострадавший плохо слышит собственный голос, который несколько изменяется. Потеря слуха разуется у разных лиц в различной степени. Встречаются лица с повышенной чувствительностью к шуму. Женщины более чувствительны к его воздействию.

При медицинском осмотре выявляется понижение слуха на восприятие шепотной речи и потеря остроты слуха, устанавливая с помощью камертонов или аудиометра - прибора для определения порогов слуховой чувствительности в диапазоне низких, средних и высоких частот. Аудиометрией называется испытание слуха, которое позволяет установить отклонение слуха человека от нормы. Ее проводят с целью определения пригодности человека к определенной профессии и

для оценки результатов шумового воздействия. Испытуемый, находясь в тихом помещении, через наушники слушает подаваемые чистые тона шума с разной интенсивностью, по показаниям приборов отмечается наименьшая интенсивность, при которой подводимый тон едва различается ухом. Результаты таких измерений изображают на графике, называемом аудиограммой, количественно определяющем потерю чувствительности слуха данного человека по отношению к нормальной чувствительности.

Для производственной тугоухости особенно характерно ухудшение восприятия высоких тонов и в наибольшей степени - частоты 4000 Гц (таблица 1.1).

Степень профессиональной тугоухости зависит от производственного стажа работы в условиях шума, характера шума, длительности воздействия его в течение рабочего дня, от интенсивности и спектра. Установлено, что утомляющее и повреждающее действие шума пропорционально его высоте (частоте). Наиболее выраженные и ранние изменения наблюдаются на частоте 4000 Гц и близкой к ней области, впоследствии повышение порогов слышимости распространяется и на более широкий спектр.

Таблица 1.1 – Количественные потери слуха при профессиональной тугоухости

Степень потери слуха	Величина потерь слуха, дБ	
	На речевых частотах (среднее арифметическое значение на частотах 500, 1000 и 2000 Гц)	На частоте 4000 Гц
Признаки воздействия шума на орган слуха	менее 10 (500 Гц - 5 дБ, 1000 Гц - 10 дБ, 2000 Гц - 20 дБ)	менее 40
I степень (легкое снижение слуха)	10-20	60 ± 20
II степень (умеренное снижение слуха)	21-30	65 ± 20
III степень (значительное снижение слуха)	31 и более	70 ± 20

Нужно заметить, что импульсный шум (при эквивалентной мощности) действует более неблагоприятно, чем непрерывный. Особенности его воздействия существенно зависят от превышения уровня импульса над среднеквадратичным уровнем, определяющим шумовой фон на рабочем месте.

В развитии профессиональной тугоухости имеют значение суммарное время воздействия шума в течение рабочего дня и наличие пауз, а также общий стаж работы. Начальные стадии профессионального поражения слуха наблюдаются у рабочих со стажем 5 лет, выраженные (поражение слуха на все частоты, нарушение восприятия шепотной и разговорной речи) – свыше 10 лет.

Изменение слуха возникает при действии высокочастотного шума, но низко- и среднечастотные шумы большой интенсивности также ведут к профессиональной глухоте.

Для профессиональной потери слуха характерны медленное развитие процесса и постоянное прогрессирование с возрастом и стажем.

Патогенез профессиональной тугоухости связан с процессом утомления и переутомления слухового анализатора. При действии шума вначале возникает слуховая адаптация - процесс приспособления уха к интенсивным звукам. Адаптация проявляется в кратковременном или неглубоком падении слуховой чувствительности, которая быстро или полно восстанавливается после прекращения действия раздражителя.

Если влияние шума продолжительно и интенсивность его велика, то наступает слуховое утомление. При этом чувствительность слуха значительно снижается. Утомление слуха, повторяясь из дня в день, приводит к тому, что его восстановление оказывается неполным к периоду следующего его воздействия. Это свидетельствует уже о состоянии переутомления, которое предшествует патологии и со временем ведет к дегенерации внутреннего уха, являющейся анатомической основой профессиональной глухоты.

Для оценки степени слухового утомления используют такой показатель, как «временный сдвиг порога слышимости» (ВСП). Обычно он означает потерю слуха в течение одного дня с восстановлением большей части спустя 1-2 ч после прекращения действия шума. Окончательное и полное восстановление слуховой чувствительности должно произойти в срок не менее 10 дней. Величина ВСП при повторных воздействиях шума более или менее постоянна. С увеличением силы шума и времени его действия ВСП возрастает. Наличие перерывов в действии шума ведет к уменьшению ВСП. На этом основано требование достаточных перерывов между проведением работ, связанных с действием интенсивного шума. Показателями слухового утомления являются величина ВСП и разность между определяемыми величинами ВСП при повторных воздействиях шума.

Помимо действия шума на орган слуха, установлено его повреждающее влияние на многие органы и системы организма, в первую очередь (на центральную нервную систему, функциональные изменения, в которой происходят раньше, чем диагностируется нарушение слуховой чувствительности). При умственной деятельности на фоне шума происходит снижение темпа работы, ее качества и производительности.

У лиц, подвергающихся действию шума, отмечаются изменения секреторной и моторной функций желудочно-кишечного тракта, сдвиги в обменных процессах (нарушения основного, витаминного, углеводного, белкового, жирового, соленого обменов).

Для рабочих шумовых профессий характерно нарушение функционального состояния сердечно-сосудистой системы (гипертензивное, реже гипотоническое состояние, повышение тонуса периферических сосудов, изменения на ЭКГ и пр.).

Наличие симптомокомплекса, который заключается в сочетании профессиональной тугоухости (неврит слухового нерва) с функциональными расстройствами центральной нервной, вегетативной, сердечно-сосудистой и других систем у лиц, работающих в условиях шума, дает веские основания рассматривать эти нарушения в состоянии здоровья как профессиональное заболевание организма в целом и включить в список профессиональных заболеваний эту нозологическую форму – шумовую болезнь.

Профессиональный неврит слухового нерва (шумовая болезнь) может встречаться чаще у рабочих различных отраслей машиностроения (в том числе судостроения и самолетостроения), текстильной промышленности, горной, металлургических отраслей промышленности и др. Случаи заболевания встречаются у лиц, работающих на ткацких станках (ткачихи), с рубильными, клепальными молотками (обрубщики, клепальщики), обслуживающих пресси-штамповочное оборудование (кузнецы), у испытателей-мотористов и других профессиональных групп, длительно подвергающихся интенсивному шуму. Вероятность повреждения слуха в зависимости от стажа работы и превышения нормативного значения для постоянных рабочих мест приведена на графике (рисунок 1.2). По данным Госкомсанэпиднадзора России, в структуре профзаболеваний кохлеарные невриты составляли: в 1994 и 1995 гг. – по 13,9 %; в 1996 г. - 14,8 %; в 1997 г. - 16,4 % и в 1998 г. - 15,9 %, 2002 г. – 16,0%, 2006 г. – 16,5 %.

1.3 Профилактические мероприятия

Генерация шума в производственных условиях сопутствует вибрации и, как правило, обусловлена многообразными причинами. Это создает трудности в борьбе с этим фактором и обычно требует применения комплекса мероприятий.

Проводятся мероприятия как технического, так и медицинского характера. Основными из них являются:

- 1) устранение причины шума или существенное его ослабление в самом источнике образования в процессе проектирования технологических процессов и конструирования оборудования;

- 2) изоляция источника шума (вибрации) от окружающей среды средствами звуко- и виброзащиты, звуко- и вибропоглощения;

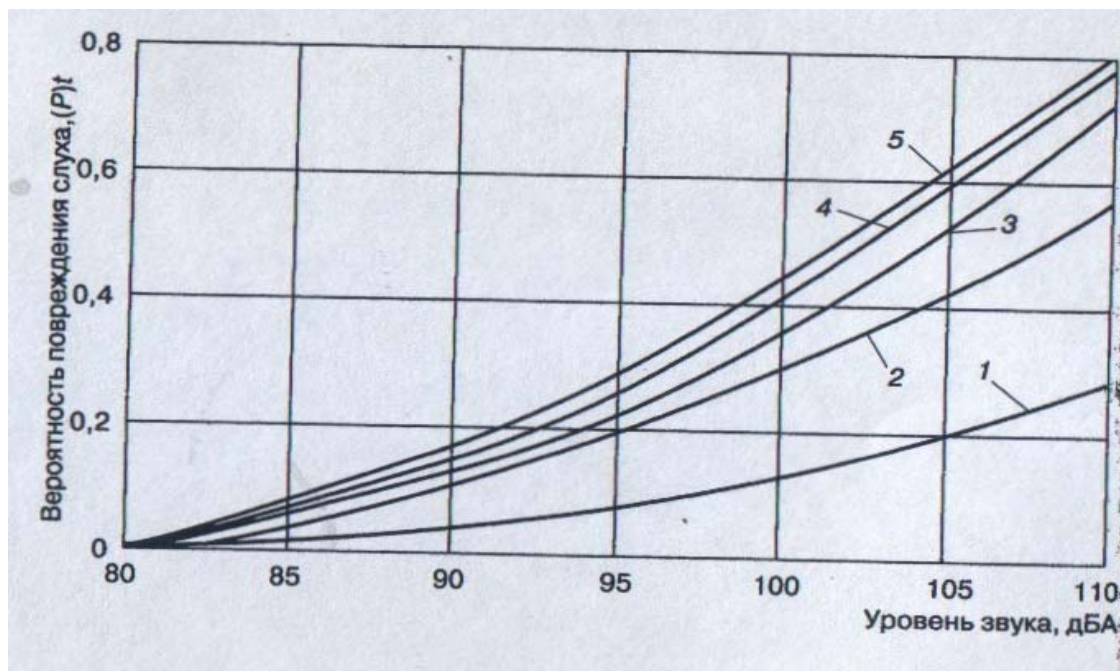


Рисунок 1.2 - Вероятность повреждения слуха: 1 - стаж работы 1 год; 2 – стаж работы 5 лет; 3 – стаж работы 10 лет; 4 – стаж работы 16 лет; 5 – стаж работы 25 лет.

3) уменьшение плотности звуковой энергии помещений, отраженной от стен и перекрытий;

4) рациональная планировка помещений и цехов;

5) применение средств индивидуальной защиты от шума;

6) рационализация режима труда в условиях шума;

7) профилактические мероприятия медицинского характера.

Наиболее рациональный путь борьбы с шумом, причиной которого является вибрация, возникающая от ударов, сил трения, механических усилий и т.п., - улучшение конструкций оборудования. Наиболее эффективная мера изменение технологии с целью устранения удара. Рекомендуется заменять клепку пневмоинструментами на гидравлические или сварные процессы; штамповку – на прессование, ручную правку металла – на вальцовку и др.

Снижение шума и вибрации достигается заменой возвратно-поступательных движений в узлах работающих механизмов равномерно вращательным.

Эффективна (особенно для высоких тонов) роль демпфирования, при котором вибрирующая поверхность покрывается материалом с большим внутренним трением (резина пробка, битум, войлок и др.). Основными требованиями, предъявляемыми к демпфирующим материалам должны быть высокая эффективность, малая масса, способность прочно удерживаться на металле и предохранять его от коррозии.

Большую роль играют улучшение текущего технического состояния и содержания оборудования, генерирующего шум, а также принятие мер по ограничению параметров его шумовых характеристик в процессе создания новых образцов. ГОСТ 8.055-73 «Машины. Методика выполнения измерений для определения шумовых характеристик» предусматривает в этих целях определение шумовых характеристик оборудования при проведении типовых испытаний с внесением их в техническую документацию – паспорт машины.

При нереальности достаточно эффективного снижения шума техническими и технологическими средствами следует осуществлять локализацию его у места возникновения путем применения звукопоглощающих и звукоизолирующих конструкций и материалов. Воздушные шумы ослабляются устройством на машинах специальных кожухов или размещением шумящего оборудования в помещениях с массивными стенами без щелей и отверстий. Для исключения резонансных явлений следу кожухи облицовывать материалами с большим внутренним трением.

Для локализации структурных шумов, распространяемых в твердых средах, применяют средства звуко- и виброизоляции перекрытий. Ослабление шума достигается применением под полом упругих прокладок без жесткой их связи с несущими конструкциями зданий, установкой вибрирующего оборудования на амортизаторы или специальные изолированные фундаменты. Вибрации, распространяющиеся по коммуникациям (трубопроводам, каналам), ослабляются стыковкой последних через звукопоглощающие материалы (прокладки из резины и др). Распространение получили специальные противозумные мастики (№ 579, 580) на битумной основе, наносимые на поверхность металла.

Наряду со звукоизоляцией в производственных условиях широко применяют средства звукопоглощения. Для помещений малого объема (от 400 до 500 м³) рекомендуется общая облицовка стен и перекрытий, снижающая уровень шума на 7-8 дБ. Звукопоглощающими материалами покрывают изолирующие конструкции. Способность звукопоглощения характеризуется коэффициентом звукопоглощения (отношение звуковой энергии, поглощенной материалом, к энергии, падающей на него). Наиболее высокими коэффициентами в широком спектре частот обладают штукатурки и плиты, минеральная вата, древесно-волоконистые плиты, камышитовые маты, войлок и др. Эффект звукопоглощения увеличивается при многослойном размещении материалов с воздушными зазорами между слоями, а также перфорацией покрытий. В помещениях большого объема эффективны звукопоглощающие барьеры и объемные поглотители, подвешиваемые над шумными агрегатами. В последнем случае звукопоглощение примерно в 2 раза эффективней, чем при покрытии звукопоглощающими материалами потолков и стен.

Одним из способов поглощения аэродинамических шумов (выхлоп и всасывание воздуха пневматических инструментов, компрессоров, вентиляторов и др.) является применение активных и реактивных глушителей. Выбор типа

глушителя определяется уровнем и спектральным составом шума. Для глушения высокочастотных шумов наиболее целесообразны активные глушители, основанные на принципе поглощения звуковой энергии, для низкочастотных – реактивные, основанные на принципе акустического фильтра.

Ослаблению производственного шума способствуют планировочные мероприятия по взаиморасположению помещений и объектов с учетом их шумности. Шумные цехи предприятий должны быть сконцентрированы в глубине заводской территории, удалены от тихих помещений, ограждены зоной зеленых насаждений, частично поглощающих шум.

Агрегаты с наиболее интенсивными шумами (более 130 дБ) следует располагать вне территории предприятий и жилой зоны с подветренной стороны и отделять от границ населенных пунктов шумозащитной зоной. Агрегаты, создающие шум более 90 дБ, должны размещаться в изолированных помещениях, с меньшим уровнем – концентрируются в одном участке цеха. Звукоизолирующие, звукопоглощающие, планировочные мероприятия по защите от шума обосновываются специальными расчетами.

В том случае, если шумные агрегаты не могут быть звукоизолированы, для защиты персонала от прямого шумоизлучения должны применяться акустические экраны, облицованные звукопоглощающими материалами, а также звукоизолированные кабины наблюдения и дистанционного управления.

Следует отметить, что помимо мер технологического и технического характера, широко применяются средства индивидуальной защиты – антифоны, выполненные в виде наушников или вкладышей. В России действует система стандартов безопасности труда, в которой существует группа стандартов (шифр 4) по средствам индивидуальной защиты, в том числе от шума, определяющих условия стандартизации испытания и применения средств индивидуальной защиты органа слуха. В настоящее время в стране применяются десятки вариантов заглушек, вкладышей, наушников и шлемов, рассчитанных на изоляцию наружного слухового прохода от шумов различного спектрального состава.

Вкладыши – это вставленные в слуховой канал мягкие тампоны из ультратонкого волокна, иногда, пропитанные смесью воска и парафина, и жесткие вкладыши (эбонитовые, резиновые) в форме конуса. Вкладыши бывают многократного и однократного пользования. К вкладышам многократного пользования относятся многочисленные варианты заглушек в виде колпачков различной конструкции и формы из резины, каучука и других пластичных полимерных материалов, в некоторых случаях надетых на железные стержни. Протившумные вкладыши многократного использования выпускают нескольких типов и размеров; вес их не регламентируется и колеблется в пределах до 10 г. «Беруши» – коммерческое название отечественных протившумных вкладышей однократного пользования из органического перхлорвинилового фильтрующего

шумопоглощающего материала. Вкладыши – это самые дешевые и компактные средства индивидуальной защиты от шума, но недостаточно эффективные и в ряде случаев неудобные, так как раздражают слуховой канал. Наиболее приемлемыми, с точки зрения эксплуатации, и достаточно эффективными по защите органа слуха считаются вкладыши из смеси волокон органической бактерицидной ваты и ультратонких полимерных волокон из материала ФП (Беруши»), позволяющие снизить ощущение громкости шума на различных частотах от 15 до 31 дБА, а также антифоны (снижение до 35 дБА).

Наушники представляют собой чаши, по форме близкие к полусфере, из легких металлов или пластмасс, наполненные волокнистыми или пористыми звукопоглотителями, удерживаемые с помощью оголовья. Для удобного и плотного прилегания к околоушной области они снабжаются уплотняющими валиками из синтетических тонких пленок, часто заполненных воздухом или жидкими веществами с большим внутренним трением (глицерин, вазелиновое масло и др.). Уплотняющий валик одновременно устраняет колебания самого корпуса наушника, что существенно при низкочастотных звуковых колебаниях. В промышленности широко применяются наушники типа ВЦНИИОТ. Ниже в таблице 1.2 приведена акустическая характеристика наушников ВЦНИИОТ – 2:

Таблица 1.2 - Акустическая характеристика наушников ВЦНИИОТ – 2

Среднегеометрические частоты полос, Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Снижение уровня звукового давления, дБ	7	11	14	22	35	47	38

Как видно из таблицы 1.2, наушники наиболее эффективны на высоких частотах, что необходимо учитывать при их использовании.

Шлемы – самые громоздкие и дорогостоящие из индивидуальных средств противошумной защиты. При воздействии шумов с высокими уровнями (более 120 дБ) вкладыши и наушники не обеспечивают необходимой защиты, так как шум действует непосредственно на мозг человека, проникая через черепную коробку. В этих случаях и применяются шлемы, как правило в комбинации с наушниками или вкладышами. Расположенный по краю шлема уплотняющий валик обеспечивает плотное прилегание его к голове. Имеются конструкции шлемов с поддутием валика воздухом для надежного облегания головы.

Отрицательное действие шумов может быть уменьшено путем сокращения времени контакта с ними, построения рационального режима труда и отдыха,

предусматривающего кратковременные перерывы в течение рабочего дня для восстановления функций слуха в тихих помещениях, совмещение профессий (в условиях шума и вне его действия) и др.

Для профилактики профессиональных заболеваний работающие в условиях интенсивного производственного шума в соответствии с приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации подвергаются обязательным предварительным при поступлении на работу и периодическим медицинским осмотрам.

1.4 Гигиеническое нормирование шума

Нормирование шума ведется в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности», в котором определены основные характеристики производственных шумов и соответствующие им нормы шума на рабочих местах. Нормы соответствуют рекомендациям Технического комитета акустик при Международной организации по стандартизации и устанавливают допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА на рабочих местах. Нормы предусматривают дифференцированный подход в соответствии с характером производственной деятельности в условиях шума, т.е. нормируемые уровни звукового давления имеют различные предельные спектры для разных профессиональных групп и помещений, где осуществляется различная по характеру работа (умственный труд, нервно-эмоциональное напряжение, преимущественно физический труд и т.д.). В нормах учитываются характер действующего шума (тональный, импульсный, постоянный) и время воздействия шумового фактора при расчете эквивалентных его уровней для непостоянных шумов.

При исследовании шумов весь слышимый диапазон звуковых колебаний по частоте можно разбить на отдельные полосы – октавы. Октава – это диапазон частот, в котором верхняя граница частоты f_2 вдвое больше нижней f_1 ($f_2/f_1 = 2$). Однако для обозначения октавы обычно указывают не диапазон частот, а так называемые среднегеометрические частоты $f_{cp} = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$.

Нужно заметить, что кроме стандарта, действуют также санитарные нормы. В этих документах характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, определяемыми по формуле (1.3). Совокупность девяти нормативных уровней звукового давления на девяти стандартных среднегеометрических частотах называется предельным спектром шума. Сокращенно предельный спектр обозначается ПС с указанием

допустимого уровня звукового давления в дБ на среднегеометрической частоте 1000 Гц, например: ПС-45, ПС-55, ПС-75 и др.

Для ориентировочной оценки (например, при проверке органами надзора, выявлении необходимости применения мер по шумоглушению и др.) допускается за характеристику постоянного широкополосного шума на рабочем месте принимать уровень звука L_A , дБА, измеренный на временной характеристике «медленно» шумомера, определяемый по формуле:

$$L_A = 20 \times \lg P_A/P_0, \quad (1.5)$$

где P_A – среднеквадратичная величина звукового давления с учетом коррекции по кривой чувствительности «А» шумомера, Па.

Шкала А шумомера имитирует кривую чувствительности уха человека. Измеренный в соответствии с ней уровень шума оказался наиболее пригодным для оценки воздействия шумов на организм. Уровень звука L_A , дБА связан с ПС следующей зависимостью:

$$L_A = ПС + 5 \text{ дБ}. \quad (1.6)$$

Характеристикой непостоянного шума на рабочих местах являются эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА и по СН 2.2.4/2.1.8-562-96 максимальные уровни звука $L_{A\text{макс}}$, дБА.

Для постоянного шума нормируемыми параметрами являются значения уровней звукового давления в девяти октавных полосах. В качестве ориентировочной оценки постоянного шума (при проверке органами надзора) допускается для постоянного широкополосного шума использовать норму для уровня звука в дБА.

Для непостоянного шума нормируемым параметром является эквивалентный (по энергии) уровень звука $L_{A\text{экв}}$, дБА. Эквивалентный уровень звука – это значение уровня звука длительностью постоянного шума, который в пределах регламентируемого интервала времени имеет тоже самое среднеквадратичное значение уровня звука, что и рассматриваемый шум.

В санитарных нормах предельно допустимые уровни звука и эквивалент уровни звука на рабочих местах приведены с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности и представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Количественную оценку тяжести и напряженности трудового процесса рекомендуется проводить в соответствии с Руководством Р 2.2.755-99. Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА на рабочих местах для тонального и импульсного шума, измеренного шумомером на характеристике «медленно», следует принимать на 5 дБ меньше указанных в таблице 1.3 значений.

Для шума, создаваемого в помещениях установками кондиционирования воздуха, вентиляции и воздушного отопления, допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА на рабочих местах следует принимать на 5 дБ меньше значений, указанных в таблице, или фактических уровней шума в этих помещениях, если последние не превышают значений, приведенных в таблице 1.3 (поправку для тонального и импульсного шумов в этом случае принимать не следует).

Для оценки непостоянного шума допускается также применять подход основанный на использовании в качестве характеристики непостоянного шума дозы шума.

Для оценки акустической энергии, воздействующей на человека за определенный период времени, пользуются понятием дозы шума D , $\text{Па}^2\text{ч}$ которая определяется по формуле:

$$D = P_A^2 \cdot T, \quad (1.7)$$

где P_A^2 - значение звукового давления, соответствующее измеренному значению уровня звука, Па ;

T - продолжительность воздействия шума, ч.

Для определения значение звукового давления D, P_A^2 необходимо провести перевод уровней звукового давления в дБ в величины квадратов давления в Па^2 .

Гигиенические нормы шума СН 2.2.4/2.1.8-562-96 оценивают производственные и коммунальные шумы отдельно, не учитывая суммарной их нагрузки, что побуждает к созданию системы оценки и управления риском при действии шума с учетом видов жизнедеятельности.

В настоящее время возникает необходимость разработки методов и критериев оценки акустического загрязнения для социально-гигиенического мониторинга (СГМ) условий труда и состояния здоровья работающих.

Целесообразно оценивать шумовое загрязнение для основных видов жизнедеятельности человека (работа, отдых и сон), что возможно на основе концепции суточной дозы.

Пример 1 Измеренный эквивалентный уровень шума составляет $L_P = 60$ дБА. Определить величину квадрата давления P_A^2 , Па .

Воспользуемся формулой (1.3)

$$\begin{aligned} L_P &= 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0}, \\ 60 &= 20 \cdot \lg \frac{P}{2 \cdot 10^{-5}}, \\ \lg \frac{P}{2 \cdot 10^{-5}} &= 3, \\ 10^3 &= \frac{P}{2 \cdot 10^{-5}}, \\ P &= 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 10^{-2}, \end{aligned}$$

$$P^2 = (2 \cdot 10^{-2})^2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Па}^2.$$

Перевод уровней звукового давления L_p , дБА в величины квадратов давления P_A^2 , Па^2 сведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Перевод уровней звукового давления L_p , дБА в величины квадратов давления P_A^2 , Па^2

дБА - Па^2	дБА - Па^2	дБА - Па^2	дБА - Па^2
80 - 0,04	90 - 0,40	100 - 4,00	110 - 40,00
81 - 0,05	91-0,50	101-5,00	111-50,00
82 - 0,06	92-0,63	102-6,30	112-63,00
83 - 0,08	93-0,80	103-8,00	113-80,00
84 - 0,10	94-1,00	104-10,00	114-100,00
85-0,13	95-1,25	105-12,50	115-125,00
86-0,16	96-1,60	106-16,00	116-163,00
87-0,20	97-2,00	107-20,00	117-200,00
88-0,25	98-2,50	108-25,00	118-250,00
89-0,32	99-3,20	109-32,00	119-380,00

Относительную дозу шума $D_{отн}$, % определяют по формуле:

$$D_{отн} = \left(\frac{D}{D_{дон}} \right) \cdot 100, \quad (1.5)$$

где $D_{дон}$ - допустимая доза шума, $\text{Па}^2\text{ч}$.

Пример 2 Для уровня звука в производственном помещении 80 дБА (согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 приложение А) и при восьмичасовом воздействии шума $D_{дон} = 0,04 \cdot 8 = 0,32 \text{ Па}^2\text{ч}$.

Для допустимого уровня звука 80 дБА: при $T=8$ ч $D_{дон} = 100$ %; при $T=4$ ч, $D_{отн} = 50$ %.

Задача 1 Определить, сколько часов можно находиться в данном помещении, чтобы доза шума не превысила допустимого значения, если известно, что эквивалентный уровень шума составляет $L_{Аэкв}$ дБА. В расчетах нормативный уровень звука для производственных помещений составляет $L_n = 80$ дБА (таблица А.1 приложения А).

Задача 2 Определить какую дозу шума в процентах от нормы получит работающий в производственном цехе за 8 часов работы, если эквивалентный уровень шума составляет $L_{Аэкв}$ дБА (выбрать в зависимости от варианта по таблице Б.2 приложения Б).

Задача 3 В течение рабочей смены (8 часов) действие шума распределяется следующим образом: за время T_1 действует шум с уровнем $L_{Аэкв1}$, дБА; за время T_2 действует шум с уровнем $L_{Аэкв2}$, дБА; $T_{ост}$ остальное время действует шум с уровнем $L_{Аэкв3}$, дБА (данные значения выбрать в зависимости от варианта по таблице Б.3 приложения Б). Определить превышает ли доза шума допустимую.

2 Расчет суммарного уровня звукового давления. Определение требуемого уровня снижения шума

2.1 Методика расчета

В производственных помещениях шум создается, как правило, несколькими одновременно работающими машинами (источниками шума). При этом в помещении могут работать как однотипные машины, имеющие одинаковый уровень шума, так и разнотипные, создающие различный шумовой фон. В данных случаях требуемый уровень снижения шума $\Delta L_{тр}$, дБ, до нормативного определяется по формуле:

$$\Delta L_{тр} = L_{сум} - L_n, \quad (2.1)$$

где $L_{сум}$ - суммарный (общий) уровень шума, создаваемый в расчетной точке от всех одновременно работающих источников шума, дБ;

L_n - нормативный уровень звукового давления, дБ.

Для определения общего уровня шума необходимо помнить, что уровни нельзя складывать или вычитать как обычные числа ввиду их логарифмической природы. Складывать и вычитать можно только интенсивности и квадраты звукового давления.

Сложение нескольких уровней следует выполнять по следующей методике: сначала перейти от уровней к относительным величинам посредством потенцирования каждого из суммируемых уровней, затем сложить получившиеся значения и прологарифмировать полученную сумму:

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^N 10^{0,1L_i} \right), \quad (2.2)$$

где N - число складываемых уровней звукового давления;
 L_i - i -й складываемый уровень звукового давления, дБ.

Пример 3 Найти сумму четырех уровней звукового давления $L_1=80$ дБА, $L_2=87$ дБА, $L_3=85$ дБА и $L_4=90$ дБА. Воспользуемся формулой (2.2).

$$\begin{aligned} L_{\text{сум}} &= 10 \lg(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + 10^{0,1L_3} + 10^{0,1L_4}) = 10 \lg(10^8 + 10^{8,7} + 10^{8,5} + 10^9) = \\ &= 10 \lg(1,92 \cdot 10^9) = 92,8 \text{ дБА}. \end{aligned}$$

Сложение нескольких уровней можно также выполнить с помощью таблицы 2.1. Для этого необходимо суммировать их попарно последовательно и для каждой пары расчет вести по формуле:

$$L_{\text{сум}} = L_{\text{max}} + \Delta l, \quad (2.3)$$

где L_{max} - максимальный из суммируемых уровней шума, дБ;
 Δl - добавка, определяемая по таблице 1 в зависимости от разностей уровней шума суммируемых источников, дБ.

Решим пример 3 следующим способом. Для этого необходимо выделить максимальный уровень $L_4=90$ дБА и определить разность между ним и одним из слагаемых:

Таблица 2.1 – Поправки Δl для суммирования источников шума различного уровня

Разность складываемых уровней шума, дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10	15	20
Δl , дБ	3	2,5	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,5	0,4	0,2	0

$L_4 - L_1 = 90 - 80 = 10$ дБА, по таблице 1 $\Delta l = 0,4$ дБА, согласно формулы (2.3)

$$L_{\text{сум}} = 90 + 0,4 = 90,4 \text{ дБА};$$

$L_{\text{сум}} - L_2 = 90,4 - 87 = 3,6$ дБА, по таблице 2.1 $\Delta l = 1,6$ дБА, тогда

$$L_{\text{сум}} = 90,4 + 1,6 = 92 \text{ дБА};$$

$L_{\text{сум}} - L_3 = 92 - 85 = 7$ дБА, по таблице 2.1 $\Delta l = 0,8$ дБА, тогда

$$L_{\text{сум}} = 92 + 0,8 = 92,8 \text{ дБА}.$$

Найденное значение совпадает с результатом, полученным при решении примера первым способом с помощью формулы (2.2).

При одновременной работе нескольких источников равной интенсивности общий уровень создаваемого ими шума $L_{\text{сум}}$, дБ, рассчитывается по формуле:

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg N + L, \quad (2.4)$$

где N - число источников шума одинаковой интенсивности;

L - уровень звукового давления создаваемый одним источником, дБ.

Для определения суммы нескольких одинаковых уровней можно пользоваться таблицей 2.2.

Таблица 2.2 – К сложению нескольких одинаковых уровней шума

Число													
источников	1	2	3	4	5	6-7	8	9-11	12-14	15-17	18-22	100	
шума N													
$10 \lg N$, дБ	0	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	20	

При решении подобных задач необходимо выделить следующие особенности:

- при наличии нескольких различных по звуковой мощности источников шума в первую очередь следует снижать шум основного источника, который дает наибольший уровень звукового давления в расчетной точке. Даже значительное снижение шума не основных источников не приведет к заметному снижению суммарного шума;

- при наличии большого количества одинаковых источников шума прибавление или устранение нескольких из них практически не влияет на общий уровень шума;

- если уровень звука одного источника превышает уровень другого более чем на 10 дБ, то влиянием второго источника на общий уровень можно пренебречь;

- для эффективного снижения шума на оборудовании необходимо устранить его в источнике образования, начиная с источника максимальной интенсивности.

Задача 4 Определить уровень шума в помещении, где находится несколько источников шума равной интенсивности с уровнем L , дБ, количество источников N .

Порядок выполнения

1 Выбрать значения L , дБ и N согласно таблице В.1 приложения В;

2 Ознакомиться с методикой.

3 Используя методику расчета октавных уровней звукового давления при одновременной работе нескольких источников равной интенсивности (формула (2.4)), определить $L_{\text{сум}}$, дБ.

Задача 5

В помещении цеха находится 3 единицы оборудования. Уровень звукового давления в октавных полосах частот 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, создаваемый источником шума в помещении - L_1 , L_2 , L_3 дБ. Необходимо определить уровень звукового давления в помещении $L_{\text{сум}}$, дБ и требуемый уровень снижения шума $\Delta L_{\text{тр}}$, дБ.

Порядок выполнения

1 По таблице В.2 приложения В выбрать соответствующий перечень оборудования.

2 По таблице В.3 приложения В выбрать технологическое оборудование и соответствующее ему значение уровней звукового давления, дБ.

3 Ознакомиться с методикой.

4 Переписать форму таблицы Г.1 приложения Г и заполнить, согласно варианта значения уровней звукового давления создаваемые технологическим оборудованием L_1 , L_2 , L_3 , дБ в девяти октавных полосах частот.

5 Используя методику расчета октавных уровней звукового давления в помещении, определить $L_{\text{сум}}$, дБ.

6 Используя нормативно-техническую документацию таблица А.1 приложения А, заполнить строку нормативных уровней звукового давления L_n , дБ.

7 Используя формулу (2.1) определить требуемый уровень снижения шума до нормативного $L_{\text{тр}}$, дБ.

8 Оформить выполненные задачи 4 и 5 в виде отчета и представить преподавателю.

3 Методы борьбы с шумом

3.1 Выбор мероприятий по снижению шума

После определения величин требуемого снижения октавных уровней звукового давления для источников шума, расположенных в помещении, и выполнения проверки, подтверждающей, что полученные в результате такого снижения октавные уровни звукового давления общего шума в расчетной точке не будут превышать норм, необходимо выбрать мероприятия, осуществление которых позволит достичь требуемого снижения шума.

Если невозможно снизить шум непосредственно в источниках его возникновения посредством уменьшения октавных уровней звуковой мощности L источников шума, следует снижать шум на пути его распространения от источника до расчетной точки. Такого снижения можно добиться следующим комплексом мероприятий:

- увеличение расстояния от источника шума до расчетной точки;
- увеличение звукопоглощения в помещении посредством установки на его ограничивающих поверхностях (стенах, потолке) звукопоглощающих облицовок и конструкций;

- установка между расчетной точкой и источниками шума экранов, частично отражающих и поглощающих падающий на них звук;

- помещение источника шума внутрь звукоизолирующего кожуха; изоляция расчетной точки от источников шума посредством устройства вокруг нее кабины наблюдения с организацией дистанционного управления технологическим процессом.

Выбор того или иного мероприятия или комплекса мероприятий определяется величиной требуемого снижения шума и расположением расчетной точки по отношению к источникам, шум которых подлежит снижению. Если расчетная точка расположена в зоне отраженного звука, наиболее эффективным мероприятием будет установка звукопоглощающих облицовок и конструкций в помещении, и для его снижения необходимо увеличить отношение $\frac{B}{\psi}$, что

достигается повышением звукопоглощения в помещении. Так, увеличение $\frac{B}{\psi}$ в 10 раз дает снижение шума отраженного звука на 10 дБ. Применение экранов в этом случае совершенно неэффективно, так как они снижают в основном долю прямого звука. Их установка целесообразна лишь в случае, если расчетная точка находится в зоне прямого звука или в зоне прямого и отраженного звуков, но вклад прямого звука превышает вклад отраженного.

Шум на рабочем месте может быть уменьшен за счет увеличения площади, что может быть достигнуто увеличением расстояния от источника шума до расчетной точки.

Помещение источника шума внутрь звукоизолирующего кожуха является, по существу, локальным увеличением звукопоглощения, приводящим к снижению мощности звука изолируемого источника в окружающем кожух пространстве и тем самым – к снижению уровня звукового давления в расчетной точке независимо от ее местоположения в помещении. Это мероприятие наиболее эффективно, если его удастся применить к наиболее мощным источникам шума в помещении. В подобном случае снижается не только величина L_i изолируемого источника шума, но и суммарная мощность источников звука в помещении $L_{\text{сум}}$.

Применение звукоизолирующих кабин наблюдения целесообразно в тех случаях, когда требуемое снижение шума велико и осуществление комплекса остальных мероприятий трудоемко и сопряжено с большими затратами. Преимуществом применения звукоизолирующих кабин является возможность обеспечения практически любого требуемого снижения шума на рабочих местах.

3.2 Снижение интенсивности звука при увеличении расстояния от источника шума до рабочего места

3.2.1 Методика расчета

Снижение уровня звукового давления данным методом достигается установлением такого расстояния между источником шума и рабочим местом, при котором обеспечивается требуемый уровень шума.

Для источника шума на рабочем месте, на территории предприятия и на границе жилого района уровень звукового давления L_i , дБ можно определить по формуле:

$$L_i = L_{ист} - 20 \lg l - \frac{\Delta r_i}{1000} - 8 + \Phi, \quad (3.1)$$

где $L_{ист}$ - уровень звукового давления от источника шума, дБ;

l - кратчайшее расстояние от центра источника шума до расчетной точки, м;

Δr_i - коэффициент затухания звука в атмосфере, дБ/км, принимается исходя из таблицы 3.1;

Φ - фактор направленности источника шума, безразмерная величина (для источника шума с равномерным излучением звука $\Phi = 1$, с не равномерным излучением звука $\Phi = 5 - 7$).

Таблица 3.1 - Коэффициент затухания звука в атмосфере Δr_i , дБ/км

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Коэффициент затухания звука в атмосфере Δr_i , дБ/км	в	0	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

Задача 6

Источник шума – силовой трансформатор создает уровень звукового давления L_i , дБ, расстояние до границы автопарка l , м, фактор направленности источника шума Φ (данные значения выбрать в зависимости от варианта по таблице Д.1

приложения Д). Определить уровень звукового давления на границе этой территории и проверить на соответствие допустимым значениям.

Порядок выполнения

- 1 Ознакомиться с методикой.
- 2 Переписать форму таблицы Е.1 (приложение Е) и заполнить, согласно варианта.
- 3 Используя таблицу 3.1 определяем коэффициент затухания звука в атмосфере Δr_i на каждой среднегеометрической частоте, дБ/км.
- 4 Рассчитываем уровень звукового давления L_i , дБ согласно формулы (3.1).
- 5 Используя нормативно-техническую документацию (таблица А.1 приложения А), заполнить строку нормативных уровней звукового давления L_n , дБ.
- 6 По формуле (2.1) находим требуемый уровень снижения шума L_{mp} , дБ и делаем вывод об эффективности применения данного метода снижения шума.
- 7 Оформить выполненную задачу в виде отчета и представить преподавателю.

3.3 Акустическая обработка помещений

3.3.1 Методика расчета

Под акустической обработкой помещения понимается облицовка части внутренних поверхностей звукопоглощающими материалами, а также размещением в помещении штучных поглотителей, представляющих собой свободно подвешиваемые объемные поглощающие тела различной формы. При падении звуковых волн на звукопоглощающие материалы и конструкции значительная часть звуковой энергии поглощается, меньшая часть отражается, и поэтому тем меньше плотность звуковой энергии в помещении.

Звукопоглощающие конструкции предназначены для поглощения звука. К таким конструкциям относятся звукопоглощающие облицовки ограждающих поверхностей помещений, штучные звукопоглотители, облицованные поверхности акустических экранов, а также звукопоглощающие облицовки, применяемые в камерных глушителях и в звукоизолирующих кожухах.

Эффективность применения акустической обработки помещений зависит от ряда факторов: акустических характеристик и форм помещения, расположения источников шума и рабочих мест. Наиболее эффективно применение звукопоглощающих облицовок потолков в гулких невысоких помещениях с большой площадью. Максимальный эффект по снижению шума от установки звукопоглощающей облицовки имеет место только для рабочих мест, расположенных в зоне отраженного звука; для рабочих мест, расположенных вблизи интенсивных источников шума, так как эффект от применения звукопоглощающей

облицовки незначителен и не превышает 3 – 4 дБ. В этом случае целесообразно сосредоточить максимальное количество звукопоглощения вблизи шумного оборудования, подвесив над ним штучные звукопоглотители.

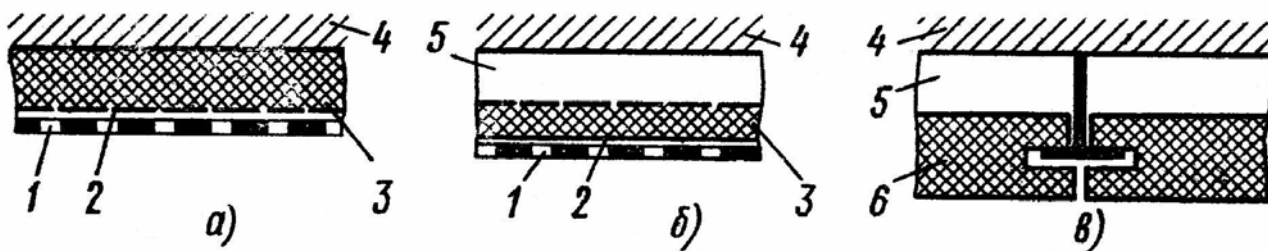
Эффективность облицовок повышается в плоских и длинных помещениях, где звук попеременно отражаясь от необлицованных потолка и пола помещения, почти без затухания распространяется на большие расстояния по всем направлениям. Облицовка потолка звукопоглощающим материалом в этих случаях наиболее эффективна.

В плоских помещениях стены играют слабую роль в отражении звука и поэтому их можно не облицовывать. Наоборот, в высоких и вытянутых помещениях, где ширина меньше высоты, облицовка стен имеет первостепенное значение.

Звукопоглощающие облицовки размещаются на потолке и в верхних частях стен при высоте помещения не более 6 – 8 м таким образом, чтобы акустически обработанная поверхность составляла не менее 60 % от общей площади ограничивающих помещение поверхностей. Если стены помещения или перекрытия запроектированы светопрозрачными и площадь свободных поверхностей мала, следует применять звукопоглотители кулисного типа или использовать штучные поглотители различных конструкций. С помощью звукопоглощающих облицовок и конструкций можно обеспечить снижение шума в производственных помещениях до 8-10 дБ.

Наиболее часто для производственных помещений применяются звукопоглощающие облицовки, состоящие из пористых волокнистых звукопоглощающих материалов типа матов или мягких плит, закрытых со стороны помещения перфорированными экранами (рисунок 3.6 а), которые защищают звукопоглощающий материал от механических повреждений и обеспечивают удовлетворительный декоративный вид. Толщина звукопоглощающего волокнистого материала принимается равной 50-100 мм. Чтобы предотвратить высыпание волокнистых материалов (особенно стекломинераловатных) через отверстия перфорации, между листом экрана и волокнистым материалом помещается слой тонкой акустически прозрачной ткани.

При необходимости снижения шума, преимущественно в области низких частот, облицовку следует относить от поверхности стен на 100-150 мм, оставляя между потолком или стеной и облицовкой замкнутый по периметру воздушный зазор (рисунок 3.6, б и в).



а – без воздушного зазора; б – с воздушным зазором; в – с использованием плиты из звукопоглощающего материала; 1 – защитная конструкция; 2 – защитная оболочка; 3 – звукопоглощающий материал; 4 – стена или потолок; 5 – воздушный промежуток; 6 – плита из звукопоглощающего материала

Рисунок 3.6 – Схемы акустических облицовок

Штучные звукопоглотители, например, звукопоглощающие кулисы, могут выполняться из легких дюралюминиевых профилей, наполнителем является супертонкое стекловолокно в оболочке из стеклоткани.

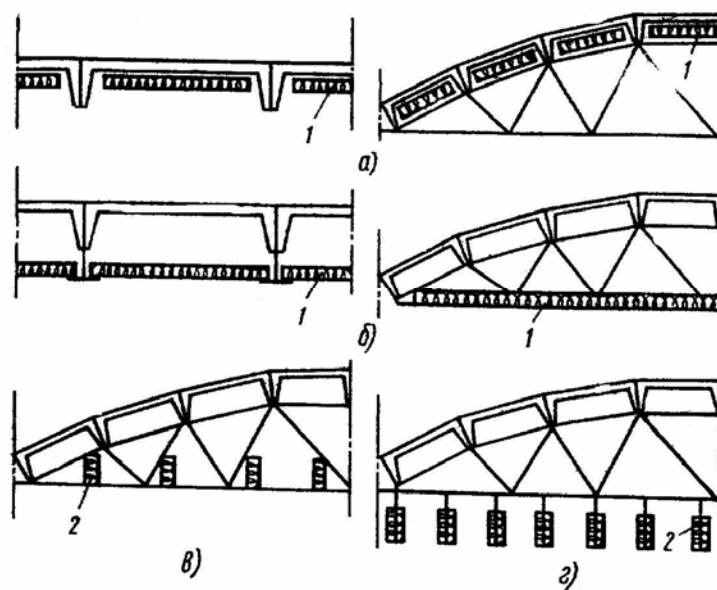
В качестве защитной конструкции применяется тонкий алюминиевый перфорированный лист или лист из акустически прозрачного стеклопластика. В ряде случаев вместо таких листов можно применять и одну декоративную стеклоткань.

В производственных зданиях, имеющих фермы, световые и аэрационные фонари в междоферменном пространстве располагают кулисные поглотители в виде звукопоглощающих балок пролетом до 6-12 м. Кулисные звукопоглотители обеспечивают значительно большее звукопоглощение, чем эквивалентные им по площади плоские звукопоглощающие облицовки.

Находят применение также штучные звукопоглотители, представляющие собой объемные конструкции в виде призм, шаров и т.п., подвешиваемых в помещении. Их выполняют из перфорированных листов твердого картона, пластмассы, металла или рулонной алюминиевой фольги, оклеенных изнутри войлочной тканью или заполненных звукопоглощающим материалом. Такие штучные звукопоглотители целесообразно располагать в непосредственной близости от источника шума.

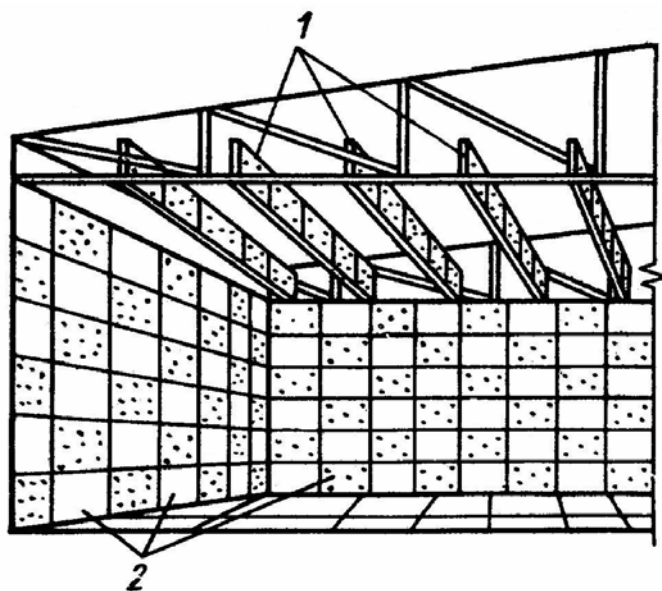
При облицовке стен и потолков звукопоглощающие конструкции можно размещать в виде сплошной облицовки, облицовки в шахматном порядке, облицовки в виде полос (с разрывом), в виде подвесных акустических балок и панелей (кулис).

Схемы рекомендуемых размещений упомянутых выше звукопоглощающих конструкций на потолках и перекрытиях производственных корпусов приведены на рисунке 3.7, а общий вид цеха с разнотипной облицовкой стен и потолка дан на рисунке 3.8.



а – в плитах перекрытия; б – в виде подвесного потолка; в – в межферменном пространстве на уровне нижнего пояса ферм; г – под нижним поясом ферм; 1- звукопоглощающие щиты; 2 – акустические балки

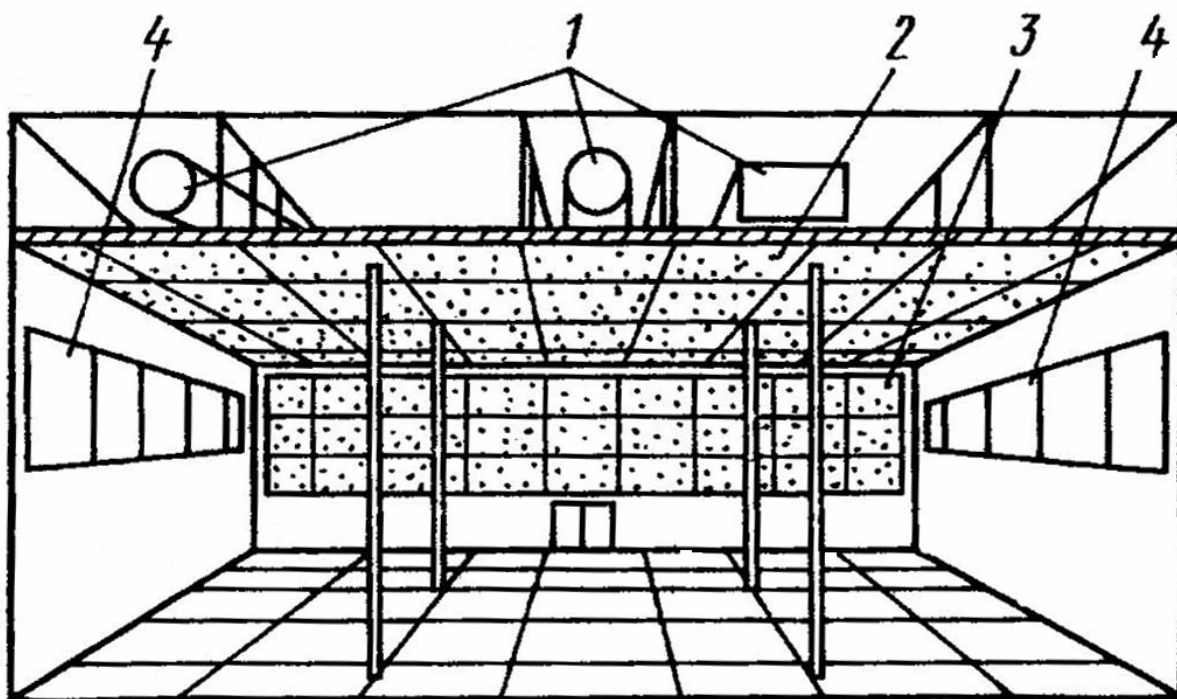
Рисунок 3.7 – Схемы размещения звукопоглощающих конструкций на потолках



1 – акустические балки в межферменном пространстве; 2 – звукопоглощающие щиты, расположенные в шахматном порядке

Рисунок 3.8 – Общий вид цеха со звукопоглощающей облицовкой разного типа

В корпусах с фонарным перекрытием для облицовки перекрытий рекомендуется применять акустические балки. В некоторых случаях целесообразно размещение звукопоглощающих конструкций с откосом в виде подвесного потолка, что дает возможность скрыть технологические коммуникации (вентиляционные короба, трубопроводы и т.п.). И улучшить внешний вид производственного помещения (рисунок 3.9)



1 – технологические коммуникации скрытые подвесным звукопоглощающим потолком; 2, 3 – звукопоглощающая облицовка потолка и стены; 4 – оконные проемы

Рисунок 3.9 – Общий вид цеха со звукопоглощающим подвесным потолком

Основой всякой звукопоглощающей конструкции является звукопоглощающий материал.

Звукопоглощающие материалы помимо своего основного назначения должны удовлетворять ряду требований, связанных с конкретными условиями их работы в конструкциях. Так, материалы, применяющиеся в конструкциях звукопоглощающих облицовок, штучных звукопоглотителей и акустических экранов, должны отвечать физико-техническим и санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к строительным материалам, в зависимости от назначения помещения и характера протекающих в нем производственных процессов. Для этого следует отдать

предпочтение материалам с высокой био- и влагостойкостью, достаточной механической прочностью. Материалы должны быть несгораемыми или трудносгораемыми в соответствии с категорией здания по пожароопасности. Кроме того, материалы не должны выделять частиц звукопоглотителя, токсичных веществ и неприятных запахов.

При выборе звукопоглощающих материалов для вентиляционных глушителей необходимо учитывать назначение установок (приточная, рециркуляционная, вытяжная) и характер помещения, которое обслуживают установки. Если звукопоглощающий материал применяется в шумоглушащей конструкции приточной вентиляционной системы, он не должен выделять пыль (непригодны, например, минеральные ваты, керамическая крошка). В вентиляционных системах, обслуживающих пожароопасные помещения, эти материалы не должны быть горючими. Материалы, применяемые для облицовки приточных вентиляционных камер, должны бы еще влагоустойчивыми.

К звукопоглощающим материалам полной заводской готовности с полужесткой волокнистой или ячеистой структурой относятся маты базальтовые звукопоглощающие, изготовленные из холстов на основе штапельных супертонких базальтовых волокон диаметром не более 3 мк в оболочке из стеклоткани с объемной массой не более 35 кг/м³; плиты из поропласта поливинилхлоридного полужесткого со среднепористой структурой (типа «Винипор»), объемной массой 200-400 кг/м³ с огнезащитной пропиткой.

Волокнистые и сыпучие звукопоглощающие материалы, являющиеся поглотителем в конструкциях звукопоглощающих облицовок применяются только в сочетании с защитными оболочками и перфорированными экранами, предохраняющими слои звукопоглотителя от механических повреждений и препятствующими высыпанию мелких волокон и пыли.

В качестве защитных оболочек и перфорированных экранов многослойных звукопоглощающих конструкциях применяются ткани или рогожки из стеклянного волокна, полиэтилентерефталатная пленка; гипсовые перфорированные плиты, оклеенные с тыльной стороны технической бязью; асбоцементные перфорированные листы; негорючие стеклопластиковые оболочки; перфорированные стальные или алюминиевые листы; металлические мелкоячеистые сетки; просечно-вытяжные листы. При этом применение перфорированных экранов не исключает обязательного использования защитных оболочек.

Защитные оболочки и перфорированные экраны не должны снижать коэффициент звукопоглощения защищаемых ими материалов в октавной полосе со среднегеометрической частотой 4000 Гц более чем на 15 %. Для выполнения этого требования защитные оболочки из ткани или рогожки должны обладать сопротивлением продуванию постоянным потоком, определяемым по ГОСТ 1629770,

не превышающим 200-400 Нс/м³, а толщина полиэтиленфталатных пленок не должна превышать 25 мк.

Защитные перфорированные экраны, выполненные из металл применяются в сочетании с пористыми поглотителями. Толщина таких экранов должна выбираться в пределах 0,5-2,0 мм при живом сечении, образуемом отверстиями перфорированного экрана, не менее 20%. Диаметры отверстий следует выбирать в пределах 7-2 мм.

Звукопоглощающие облицовки и конструкции следует применять, когда требуемое снижение уровня звукового давления ΔL_{mp} , дБ на рабочих местах превышает 1 – 3 дБ не менее чем в трех октавных полосах или превышает 5 дБ хотя бы в одной из октавных полос. Применение звукопоглощающих облицовок и конструкций без каких-либо других мероприятий целесообразно, если на рабочих местах, расположенных в зоне отраженного звука, ΔL_{mp} не превышает 10 – 12 дБ, а на остальных рабочих местах 4 – 5 дБ. Если полученные в результате расчета значения ΔL_{mp} окажутся выше указанных величин, то для снижения уровня звукового давления помимо акустической обработки необходимо предусматривать применение дополнительных средств защиты от шума (планировочные мероприятия, звукоизоляционные ограждения, выгородки, экраны, кожухи и т.п.).

Необходимость проведения акустической обработки помещения определяется величиной акустических характеристик – средним коэффициентом поглощения $\bar{\alpha}$ и постоянной помещения B .

Акустическую обработку помещения необходимо проводить в случае, если величина среднего коэффициента поглощения на частоте 1000 Гц акустически необработанного помещения не превышает 0,25.

Средний коэффициент звукопоглощения помещения до акустической обработки $\bar{\alpha}$, определяются по формуле:

$$\bar{\alpha} = \frac{B}{B + S}. \quad (3.2)$$

Постоянная помещения B , м² определяется по формуле:

$$B = \frac{\bar{\alpha} \cdot S}{1 - \bar{\alpha}}, \quad (3.3)$$

где $\bar{\alpha}$ - средний коэффициент поглощения в помещении;

S - площадь ограждающих поверхностей помещения, м².

Для выбора материала и конструкции звукопоглощающей облицовки проводят ориентировочный расчет представленный далее.

Величина снижения уровней звукового давления $\Delta L_{обл}$, дБ в результате акустической обработки (облицовки) помещения определяются по формуле:

$$\Delta L_{обл} = 10 \cdot \lg \frac{B_1}{B} = 10 \cdot \lg \frac{\alpha_{обр.}}{\alpha_{необр.}}, \quad (3.4)$$

где B - постоянная помещения до его акустической обработки (рисунок Ж.1 приложения Ж), м^2 ;

$B_{обл}$ - постоянная помещения после его акустической обработки (рисунок Ж.1 приложения Ж), м^2 .

Величину постоянной помещения после его акустической обработки $B_{обл}$, м определяем из выражения:

$$B_{обл} = \frac{S \cdot \gamma}{S - \gamma}, \quad (3.5)$$

где S - площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 определяемая по формуле:

$$S = 2 \cdot (a \cdot b + b \cdot h + a \cdot h), \quad (3.6)$$

где a - длина, м;

b - ширина, м;

h - высота помещения, м.

Величина γ определяется из выражения:

$$\gamma = \bar{\alpha} \cdot S + \alpha_{обл} \cdot S - \bar{\alpha} \cdot S_{обл}, \quad (3.7)$$

где $S_{обл}$ - площадь звукопоглощающей конструкции, м^2 ;

$\alpha_{обл}$ - реверберационный коэффициент звукопоглощения выбранной конструкции (таблица И.1 приложения И).

Почти все широко распространенные звукопоглощающие материалы являются по своей структуре пористыми, механизм поглощения которых заключается в

превращении энергии звуковой волны в тепловую энергию за счет вязкого трения в капиллярах пор или необратимых потерь при деформациях упругого скелета. В качестве звукопоглощающей облицовки применяют конструкции в виде слоя однородного пористого материала (пенополиуретановый поропласт, пористый поливинилхлорид и др.) определенной толщины, укрепленного непосредственно на поверхности ограждения, или удаленного от него на некоторое расстояние.

При необходимости проверки эффективности применения звукопоглощающей облицовки проводят более точный расчет, используя формулу (3.8). Максимальное снижение уровня звукового давления $\Delta L_{\max}$, дБ в каждой октавной полосе в расчетных точках на рабочих местах, расположенных в зоне отраженного звука, при применении звукопоглощающих конструкций рассчитывают по формуле:

$$\Delta L_{\max} = 10 \lg \left(\frac{B_{\text{обл}} \cdot \psi}{B \cdot \psi_{\text{обл}}} \right), \quad (3.8)$$

где B и $B_{\text{обл}}$ - постоянные звукопоглощения помещения, соответственно до и после установки в нем звукопоглощающих конструкций, м^2 ;

ψ и $\psi_{\text{обл}}$ - коэффициенты, определяемые по графику (рисунок 3.10), соответственно до и после установки в нем звукопоглощающих конструкций.

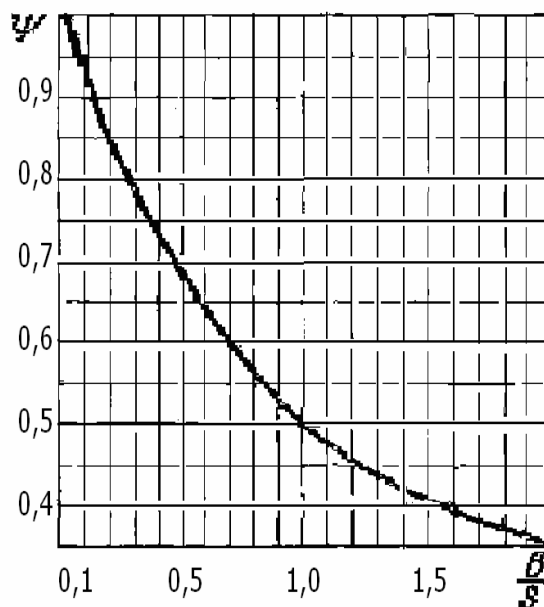


Рисунок 3.10 – График для определения ψ

Постоянная звукопоглощения помещения в октавных полосах частот B и $B_{обл}$, определяют по формулам (3.9) и (3.10), соответственно

$$B = \mu \cdot B_{1000}, \quad (3.9)$$

где μ - частотный множитель, определяемый по таблице 3.2;

B_{1000} - значение постоянной звукопоглощения в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц, м^2 , определяемое в зависимости от типа и объема помещения V , м^3 определяют по таблице 3.3.

Таблица 3.2 – Частотный множитель μ

Объем помещения, м^3	Среднегеометрическая частота, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
200, не более	0,80	0,80	0,75	0,70	0,80	1,00	1,40	1,80	2,50
от 200 до 1000	0,65	0,62	0,62	0,64	0,75	1,00	1,50	2,40	4,20
1000, не менее	0,45	0,50	0,50	0,55	0,70	1,00	1,60	3,00	6,00
Цехи разлива жидкостей любого объема	0,75	0,80	0,80	0,85	0,95	1,00	1,05	1,30	2,00

$$B_{обл} = (A + \Delta A) / (1 - \alpha_{ср.обл}), \quad (3.10)$$

где A и ΔA - эквивалентная площадь звукопоглощения необлицованных ограждающих поверхностей помещения и звукопоглощающих конструкций (формулы (3.1) и (3.12));

$\alpha_{ср.обл}$ - средний коэффициент звукопоглощения помещения со звукопоглощающими конструкциями (формула (3.13)):

$$A = B(S - S_{обл}) / (B + S), \quad (3.11)$$

где B - постоянная звукопоглощения помещения до установки звукопоглощающей облицовки, м^2 , определяемая по формуле (3.9) и таблицам 3.2 и 3.3;

S - площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 , определяемая по формуле (3.6);

$S_{обл}$ - площадь звукопоглощающей облицовки, м².

$$\Delta A = \alpha_{обл} \cdot S_{обл} + A_{шт} \cdot n_{шт}, \quad (3.12)$$

где $\alpha_{обл}$ - реверберационный коэффициент звукопоглощения звукопоглощающей облицовки (таблица И.1 приложения И);

$A_{шт}$ - эквивалентная площадь звукопоглощения штучного звукопоглотителя, м²;

$n_{шт}$ - число штучных звукопоглотителей.

$$\alpha_{ср.обл} = (A + \Delta A) / S. \quad (3.13)$$

Таблица 3.3 - Постоянная звукопоглощения помещения B_{1000}

Тип помещения	Описание помещения	Постоянная звукопоглощения помещения B_{1000} , м ²
1	Помещения с небольшим количеством людей, без мебели (металлообрабатывающие цехи, вентиляционные камеры; генераторные, машинные залы; испытательные стенды и т.п.)	$V/20$
2	Помещения с большим количеством людей и жесткой мебелью (лаборатории; цехи производственные и т.п.)	$V/10$
3	Помещения с большим количеством людей и мягкой мебелью (рабочие помещения административных зданий; конструкторские залы; аудитории и т.п.)	$V/6$

Площадь звукопоглощающей облицовки $S_{обл}$, м² определяется по формуле:

$$S_{обл} = \Delta A_{тр} / \alpha_{обл}, \quad (3.14)$$

где $\Delta A_{тр}$ - требуемая эквивалентная площадь звукопоглощения, обеспечивающая заданное снижение уровня звукового давления, м²;

$\alpha_{обл}$ - реверберационный коэффициент звукопоглощения звукопоглощающей облицовки (таблица И.1 приложения И).

Значение $\Delta A_{тр}$ для каждой октавной полосы определяется по номограмме К.1 приложения К в зависимости от среднего коэффициента звукопоглощения α (формула (3.2)), требуемого снижения уровня звукового давления $L_{тр}$, дБ и общей площади ограждающих поверхностей помещения S , м².

Если в результате расчета площадь звукопоглощающей облицовки $S_{обл}$ окажется больше площади, возможной для облицовки в данном помещении, то $S_{обл}$ следует принять максимально возможной, а дополнительное звукопоглощение обеспечить применением штучных звукопоглотителей, количество которых для каждой октавной полосы $n_{шт}$ рассчитывается по формуле:

$$n_{шт} = (\Delta A_{тр} - \alpha_{обл} \cdot S_{обл}) / A_{шт}, \quad (3.15)$$

где $A_{шт}$ - эквивалентная площадь звукопоглощения штучного звукопоглотителя, м².

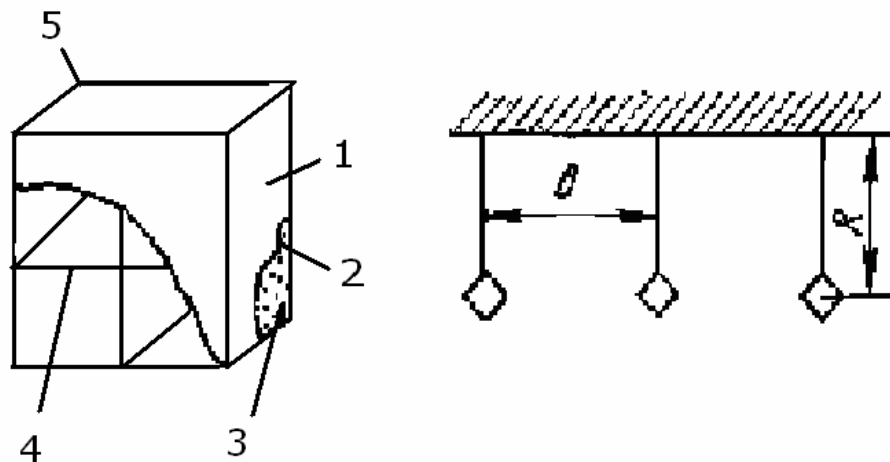
Штучные звукопоглотители относятся к типу объемных звукопоглощающих конструкций, могут быть однослойными и многослойными.

Однослойный объемный звукопоглотитель состоит из материала из жесткой или полужесткой зернистой, ячеистой и волокнистой структурой плиты (ПА/С, винипор, акминит), который обеспечивает необходимую жесткость конструкции и определенную геометрическую форму (куб, призма) с воздушной полостью внутри. Офактуренная поверхность плиточных материалов обеспечивает декоративность и сохраняет форму изделия.

Многослойный объемный звукопоглотитель состоит из легкого каркаса, имеющего форму какого либо геометрического тела (куба, призмы, пирамиды и др.), звукопоглощающего наполнителя из рыхлых, сыпучих или волокнистых материалов (типа минеральной ваты, стеклянного или базальтового волокна), защитного покрытия в виде ткани (пленки) и перфорированного листа. Материал может располагаться в виде поверхностного слоя конечной толщины, а в отдельных случаях – заполняет весь объем штучного поглотителя.

Штучные звукопоглотители целесообразно располагать в непосредственной близости от источника шума. Акустической характеристикой звукопоглощающей облицовки является частотная зависимость коэффициента звукопоглощения $\alpha_{обл}$, а штучного звукопоглотителя - эквивалентная площадь звукопоглощения $A_{шт}$, м². На

рисунке 3.11 представлен общий вид и схема размещения штучных звукопоглотителей.



1 – поверхность; 2 – оболочка; 3 – звукопоглощающий материал; 4 – каркас; 5 – точка подвеса

Рисунок 3.11 - Общий вид и схема размещения штучных звукопоглотителей

Задача 7

В помещении цеха размерами V , м^3 , находится 3 единицы оборудования. Уровень звукового давления в октавных полосах частот 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, создаваемый источником шума в помещении - L_1 , L_2 , L_3 дБ. Необходимо определить уровни звукового давления в помещении $L_{\text{сум}}$, дБ и подобрать звукопоглощающую конструкцию.

Порядок выполнения

1 Выбрать вариант по таблице Л.1 приложения Л.

2 Ознакомиться с методикой.

3 Переписать форму таблицы М.1 приложения М и заполнить, согласно варианта значения уровней звукового давления создаваемые постоянными источниками L_1 , L_2 , L_3 , дБ в девяти октавных полосах частот.

4 Используя методику расчета октавных уровней звукового давления в помещении (формула (2.3)), определить $L_{\text{сум}}$, дБ.

5 Используя нормативно-техническую документацию (таблица А.1 приложения А), заполнить строку нормативных уровней звукового давления L_n , дБ.

6 На следующем этапе необходимо определить для каждой октавной полосы частот значения постоянной помещения B , м^2 , с помощью графика (рисунок Ж.1 приложения Ж).

7 Выполнить необходимый расчет по определению среднего коэффициента звукопоглощения акустически необработанного помещения $\alpha_{\text{необр.}}$, результаты занести в таблицу. По результатам величины $\alpha_{\text{необр.}}$ для октавной полосы 1000 Гц сделать вывод о целесообразности проведения акустической обработки помещения.

8 Используя справочные данные таблицы И.1 (приложение И) подбираем наиболее подходящий акустический материал и соответствующие коэффициенты звукопоглощения выбранного акустического материала $\alpha_{\text{обл.}}$ заносим в таблицу.

9 Определяем коэффициент звукопоглощения помещения после обработки и величину снижения уровней звукового давления в результате акустической обработки помещения $\Delta L_{\text{обл.}}$, дБ.

10 Определяем уровень шума в помещении после акустической обработки $L_{\text{обл.}}$, дБ.

11 Оформить выполненное задание в виде отчета и представить преподавателю.

Задача 8 Определить площадь звукопоглощающей облицовки для проведения акустической обработки помещения в производственном цехе, исходные данные приведены в задачи 7.

Порядок выполнения

1 Переписать форму таблицы Н.1 (приложение Н) и заполнить, согласно варианта значение уровня звукового давления создаваемые постоянными источниками $L_{\text{сум}}$, дБ.

2 Используя нормативно-техническую документацию (таблица А.1 приложения А), заполнить строку нормативных уровней звукового давления L_n , дБ.

3 Определяем требуемый уровень снижения шума $L_{\text{тр}}$, дБ используя формулу (2.1).

4 Используя формулу (3.9) и таблицу 3.2, 3.3 определяем B - постоянную звукопоглощения помещения в октавных полосах частот.

5 По формуле (3.6) рассчитываем S - площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2 .

6 Определяем средний коэффициент α , используя формулу (3.2).

7 Определяем значение $\Delta A_{\text{тр}}$ для каждой октавной полосы по номограмме К.1 приложения К в зависимости от среднего коэффициента звукопоглощения α , требуемого снижения уровня звукового давления $L_{\text{тр}}$, дБ и общей площади ограждающих поверхностей помещения S , м^2 .

8 По таблице И.1 приложения И выбираем реверберационный коэффициент звукопоглощения звукопоглощающей облицовки α_{obl} .

9 По формуле (3.14) определяем площадь звукопоглощающей облицовки S_{obl} , m^2 .

10 Проведем сравнение значений площади звукопоглощающей облицовки и площади ограждающих поверхностей помещения. Если площадь звукопоглощающей облицовки S_{obl} больше площади, возможной для облицовки в данном помещении S , то следует произвести расчет и определить количество штучных звукопоглотителей по формуле (3.15).

11 Оформить выполненное задание в виде отчета и представить преподавателю.

Задача 9

Рассчитать эффективность облицовки потолка и стен помещения лаборатории звукопоглощающими материалами. Размеры помещения длина L , м, ширина B , м, высота H , м. В качестве звукопоглощающего материала плиты декоративно-акустические двухслойные «Брекчия» толщина 5 мм, установленный на расстоянии 50 мм от ограждения. Уровень звукового давления в лаборатории составляет L , дБ.

Порядок выполнения

1 Выбрать вариант по таблице П.1 приложения П.

2 Переписать форму таблицы Р.1 приложения Р и заполнить, согласно варианта значение уровня звукового давления создаваемые постоянными источниками L , дБ.

3 Определяем значение B - постоянной звукопоглощения помещения в октавных полосах частот, используя формулу (3.9) и таблицу 3.2, 3.3.

4 Рассчитываем S - площадь ограждающих поверхностей помещения, m^2 , согласно формуле (3.6).

5 Определяем средний коэффициент α , используя формулу (3.2).

6 Используя нормативно-техническую документацию (таблица А.1 приложения А), заполнить строку нормативных уровней звукового давления L_n , дБ.

7 Определяем требуемый уровень снижения шума L_{mp} , дБ используя формулу (2.1).

8 Находим требуемую эквивалентную площадь звукопоглощения, обеспечивающую заданное снижение уровня звукового давления ΔA_{mp} , m^2 , используя номограмму К.1 приложения К.

9 По таблице И.1 приложения И выбираем реверберационный коэффициент звукопоглощения используемой в лаборатории звукопоглощающей облицовки α_{obl} .

10 По формуле (3.14) определяем площадь звукопоглощающей облицовки $S_{обл}$, м².

11 Проведем анализ площади звукопоглощающей облицовки и площади ограждающих поверхностей помещения. В том случае если площадь звукопоглощающей облицовки $S_{обл}$ больше площади, возможной для облицовки в данном помещении S , необходимо провести расчет по определению количества штучных звукопоглотителей по формуле (3.15).

12 Рассчитаем эквивалентную площадь звукопоглощения необлицованных ограждающих поверхностей помещения A , м² по формуле (3.11).

13 Рассчитаем эквивалентную площадь звукопоглощающих конструкций ΔA , м² по формуле (3.12).

14 Используя формулу (3.13) рассчитываем средний коэффициент звукопоглощения помещения со звукопоглощающими конструкциями $\alpha_{ср.обл}$.

15 Постоянную звукопоглощения помещения, после установки в нем звукопоглощающих конструкций $B_{обл}$, м² рассчитываем используя формулу (3.10).

16 Коэффициенты ψ и $\psi_{обл}$, соответственно до и после установки в помещении лаборатории звукопоглощающих конструкций определяемые по графику (рисунок 3.10). Результаты заносим в таблицу.

17 Для определения эффективности применения акустической обработки помещения рассчитываем максимальное снижение уровня звукового давления ΔL_{max} , дБ по формуле (3.8).

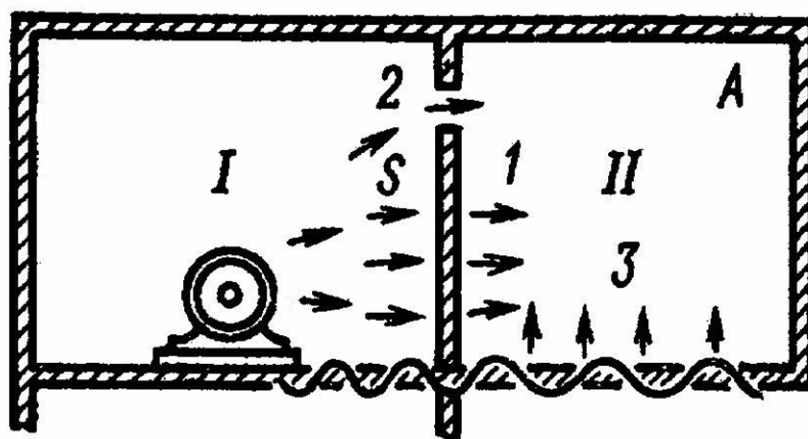
18 Оформить выполненное задание в виде отчета и представить преподавателю.

3.4 Звукоизолирующие ограждения

3.4.1 Методика расчета

Методами звукоизоляции возможно изолировать источники шума или помещение от шума, проникающего извне. Шум из помещения с источником шума (I) проникает через звукоизолирующие ограждения в тихое помещение (II) тремя путями (рисунок 3.12):

- 1) через ограждение, которое под действием переменного давления падающей на него волны, колеблясь как диафрагма, излучает шум в тихое помещение;
- 2) непосредственно по воздуху через различного рода щели и отверстия;
- 3) посредством вибраций, возбуждаемых в строительных конструкциях механическим путем (удары, хождение и т.п.).



1 – через ограждение; 2 – через отверстия; 3 – по строительным конструкциям

Рисунок 3.12 – Пути проникновения шума

В первых двух случаях передаются звуки, возникающие и распространяющиеся по воздуху и условно называемые воздушными звуками. В третьем случае энергия возникающих упругих колебаний распространяется по конструкциям (по стенам, перекрытиям, трубопроводам и т.п.) и затем излучаются в виде шума. Такие колебания называются структурными или ударными звуками.

Снижение шума, распространяющегося по воздуху, может быть эффективно осуществлено устройством на его пути звукоизолирующих преград в виде специальных кожухов, перегородок, перекрытий, кабин экранов или выгородок.

При попадании звуковой волны на ограждение часть ее энергии отражается от ограждения, часть проходит внутрь ограждения и поглощается в его материале, а часть проникает за ограждение. Отношение звуковой мощности, прошедшей через ограждение, E_{np} к падающей на него E_{nad} называют коэффициентом звукопроницаемости τ , который является характеристикой звукоизолирующей способности ограждения.

$$\tau = \frac{E_{np}}{E_{nad}}. \quad (3.16)$$

Механизм передачи звука через ограждения в общих чертах состоит в том, что, звуковая волна, падающая на ограждение, приводит его в колебательное движение с частотой, равной частоте колебаний воздуха в волне. В результате ограждение становится источником звука и излучает его в изолируемое помещение. Количество прошедшей звуковой энергии растет с увеличением амплитуды колебаний

ограждения. Кроме того, характер и значение изоляции ограждением в значительной степени зависят от частоты колебаний.

Изоляция однослойным ограждением воздушного шума может быть рассмотрена для трех частотных диапазонов, как это показано на рисунке 3.13.

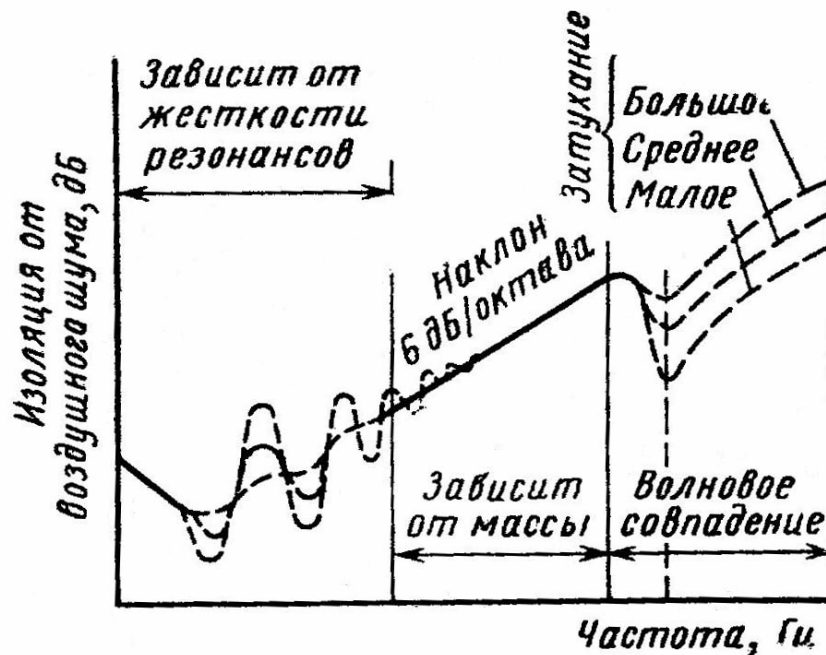


Рисунок 3.13 — Зависимость изоляции воздушного шума однослойным ограждением от частоты.

В первом частотном диапазоне на низких частотах (до 50-100 Гц) вблизи частот собственных колебаний ограждения (основных резонансных частот) его звукоизоляционные качества определяются жесткостью ограждения и внутренним трением в материале. Однако собственная частота колебаний большинства однослойных ограждений лежит ниже интересующего нас частотного диапазона (ниже 50 Гц).

Выше дву-трехкратной величины низшей резонансной частоты (второй диапазон) звукоизоляция обычно определяется массой ограждения, которое можно рассматривать состоящим из большого количества отдельных масс, колеблющихся независимо одна от другой. В этом частотном диапазоне жесткость ограждения не играет роли, и изоляция воздушного шума определяется по так называемому закону массы.

В третьем частотном диапазоне звукоизоляция однослойного ограждения, начиная с определенной частоты, при которой проекция (след) звуковой волны

падающего на ограждение звука становится равной свободным изгибным волнам ограждения (рисунок 3.14), значительно снижается из-за так называемого эффекта пространственного резонанса - эффекта волнового совпадения.

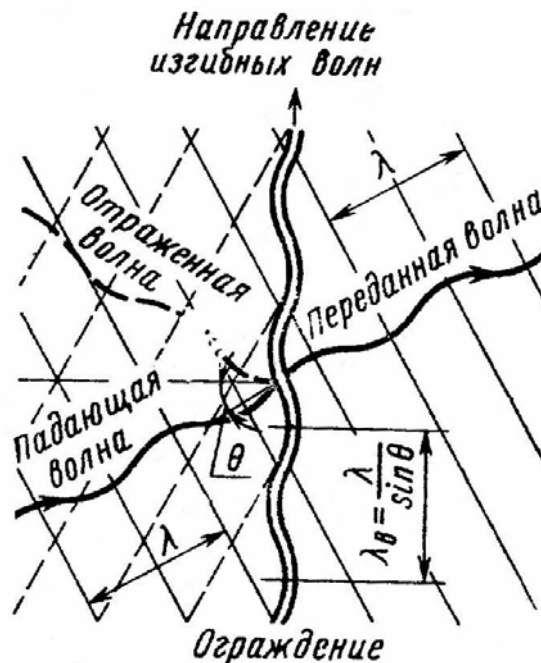


Рисунок 3.14 – Эффект волнового совпадения

Резонанс в обычной колебательной системе наступает, как известно, при совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний системы (например, ограждения в виде пластины). В случае же эффекта волнового совпадения, когда след падающей на ограждение звуковой волны равен длине волны изгиба ограждения, распространение давления в волне, падающей вдоль пластины, точно соответствует распределению амплитуды собственных изгибных колебаний ограждения, что приводит к интенсивному росту колебаний и снижению изоляции от воздушного шума.

Звукоизолирующая способность преграды R , дБ зависит от физических параметров материалов и конструктивных размеров её элементов и определяется по формуле:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{E_{nad}}{E_{np}}. \quad (3.17)$$

Звукоизолирующая способность проектируемого ограждения R , дБ приближено можно рассчитать по весу конструкции, пользуясь эмпирическими формулами (3.18), (3.19) и (3.20):

а) звукоизоляция сплошного однородного ограждения R , дБ, если вес 1 м^2 материала до 200 кг/м^2 :

$$R = 13,5 \lg G + 13, \quad (3.18)$$

где G - масса 1 м^2 ограждения;

б) звукоизоляция сплошного однородного ограждения, R , дБ, имеющего вес 1 м^2 материала свыше 200 кг/м^2 :

$$R = 23 \lg G - 9; \quad (3.19)$$

в) звукоизоляция двойного ограждения с воздушной прослойкой R , дБ толщиной $8 - 10 \text{ см}$:

$$R = 26 \lg(G_1 + G_2) - 6. \quad (3.20)$$

Если звукоизолирующее ограждение будет состоять из S_1 сплошной площади и S_2 площади всех проемов в данном ограждении (окна, двери), то в правую часть формул (3.18), (3.19) и (3.20) необходимо ввести член $10 \lg \frac{S_1 + S_2}{S_1}$ со знаком минус:

$$R = 13,5 \lg G + 13 - 10 \lg \frac{S_1 + S_2}{S_1}. \quad (3.21)$$

Звукоизоляционная способность ограждения однослойной перегородки R , дБ может быть определена по формуле:

$$R = 20 \lg(\rho_o \cdot h_o \cdot f) - 47,5, \quad (3.22)$$

где ρ_o - плотность материала ограждения, кг/м^3 ;

h_o - толщина ограждения, м;

f - частота, Гц.

Из формулы (3.22) видно, что звукоизоляция ограждения возрастает с увеличением плотности его материала или толщины, т.е. массы ограждения. Так увеличение массы в 2 раза приводит к повышению звукоизоляции на 6 дБ. Звукоизолирующая способность одного и того же ограждения возрастает с увеличением частоты – на высоких частотах эффект от установки ограждения будет значительно выше, чем на низких частотах.

Требуемая звукоизолирующая способность ограждения (стен, перегородок) $R_{тр.огр.}$, дБ, обеспечивающая в помещении, смежном с шумным, выполнение нормативных требований, определяется по следующей формуле:

$$R_{тр.огр.} = L_{сум} - L_n - 10 \lg \frac{B_{ш}}{B_0} - 10 \lg \frac{B_u}{B_0} + 10 \lg \frac{S_i}{S_0} + 10 \lg m + 6, \quad (3.23)$$

где $L_{сум}$ - суммарный уровень звукового давления всех n источников шума на данной частоте, дБ;

L_n - допустимые октавные уровни звукового давления в изолируемом помещении, дБ;

$B_{ш}$ - постоянная шумного помещения, определяется по графику (рисунок Ж.1 приложения Ж), м²;

B_u - постоянная изолируемого помещения, определяется по графику (рисунок Ж.1 приложения Ж), м²;

$$B_0 = 1 \text{ м}^2;$$

S_i - общая площадь однотипных i -х ограждающих конструкций изолируемого помещения, м²;

$$S_0 = 1 \text{ м}^2;$$

m - число разнотипных ограждающих конструкций, через которые шум проникает в изолируемое помещение.

Уровень шума в изолированном помещении $L_{из}$, дБ определяется по формуле:

$$L_{из} = L_{сум} - R_{огр.}, \quad (3.24)$$

где $R_{огр.}$ - звукоизолирующая способность реальной конструкции смежного ограждения (таблица С.1 приложения С), дБ.

Шум с особой легкостью проникает через всякого рода щели и отверстия в ограждениях, что приводит к значительному ухудшению звукоизоляции. Наличие

технологических отверстий в ограждающих устройствах, а также увеличение плотности звуковой энергии в изолируемом помещении за счет многократных отражений звука от ограничивающих его поверхностей приводит к тому, что фактическая звукоизоляция всегда существенно ниже расчетной. Поэтому в реальных условиях, для получения наилучшего эффекта по звукоизоляции ее надо комбинировать со звукопоглощением, устанавливая в технологических отверстиях глушители шума и внося звукопоглощающие конструкции как внутрь ограждения, так и в изолируемое пространство.

Задача 10 В боксах испытательной станции завода авиадвигателей уровень звукового давления составляет L , дБА. Стены бокса выполнены из материала вес которого составляет G , кг/м². Звукоизоляция дверей, окон и потолка равноценна звукоизоляции стен. Определить уровень шума непосредственно за боксами.

Задача 11 В помещении цеха имеет размеры V , м³. В смежном помещении находится 3 единицы оборудования. Уровень звукового давления в октавных полосах частот 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, создаваемый источником шума в помещении - L_1 , L_2 , L_3 дБ. Необходимо определить уровень звукового давления в помещении $L_{\text{сум}}$, дБ, подобрать звукоизолирующую конструкцию и определить уровень шума после введения мероприятий по звукоизоляции.

Порядок выполнения

- 1 Выбрать вариант по таблице У.1 (приложение У).
- 2 Ознакомиться с методикой.
- 3 Переписать форму таблицы Ф.1 (приложение Ф) и заполнить, согласно варианта значения уровней звукового давления создаваемые постоянными источниками L_1 , L_2 , L_3 , дБ в девяти октавных полосах частот.
- 4 Используя методику расчета суммарного уровня звукового давления в помещении (формула (2.3)), определить $L_{\text{сум}}$, дБ.
- 5 Используя нормативно-техническую документацию (таблица А.1 приложения А), заполнить строку нормативных уровней звукового давления L_n , дБ.
- 6 На следующем этапе необходимо определить для каждой октавной полосы частот значение постоянной шумного помещения $B_{ш}$, м² с помощью графика (рисунок Ж.1 приложения Ж).
- 7 Используя формулу (2.1) определить требуемый уровень снижения шума до нормативного $L_{\text{тр}}$, дБ.
- 8 Провести анализ источников шума. При наличии нескольких различных по звуковой мощности источников шума следует снижать шум основного источника, который дает наибольший уровень звукового давления.

По итогам анализа подобрать размеры и конструкцию звукоизолирующего ограждения. Определить общую площадь однотипных i -х ограждающих конструкций изолируемого помещения S_i , м^2 и число разнотипных ограждающих конструкций, через которые шум проникает в изолируемое помещение m .

9 С помощью графика (рисунок Ж.1 приложения Ж) определяем постоянную изолируемого помещения $B_{\text{ц}}$, м^2 после применения звукоизолирующего ограждения.

10 Определяем требуемую звукоизолирующую способность ограждения $R_{\text{тр.огр.}}$, дБ используя формулу (3.23).

11 Используя справочные данные таблицы С.1 (приложение С) выбираем материал для звукоизолирующего ограждения, который будет обеспечивать требуемое снижение уровня шума. Реальную звукоизолирующую способность ограждения $R_{\text{огр.}}$.

12 Используя формулу (3.24) определяем уровень шума в изолированном помещении $L_{\text{из}}$, дБ и делаем вывод об эффективности применения выбранного звукоизолирующего материала.

13 Оформить выполненные задачи 10 и 11 в виде отчета и представить преподавателю.

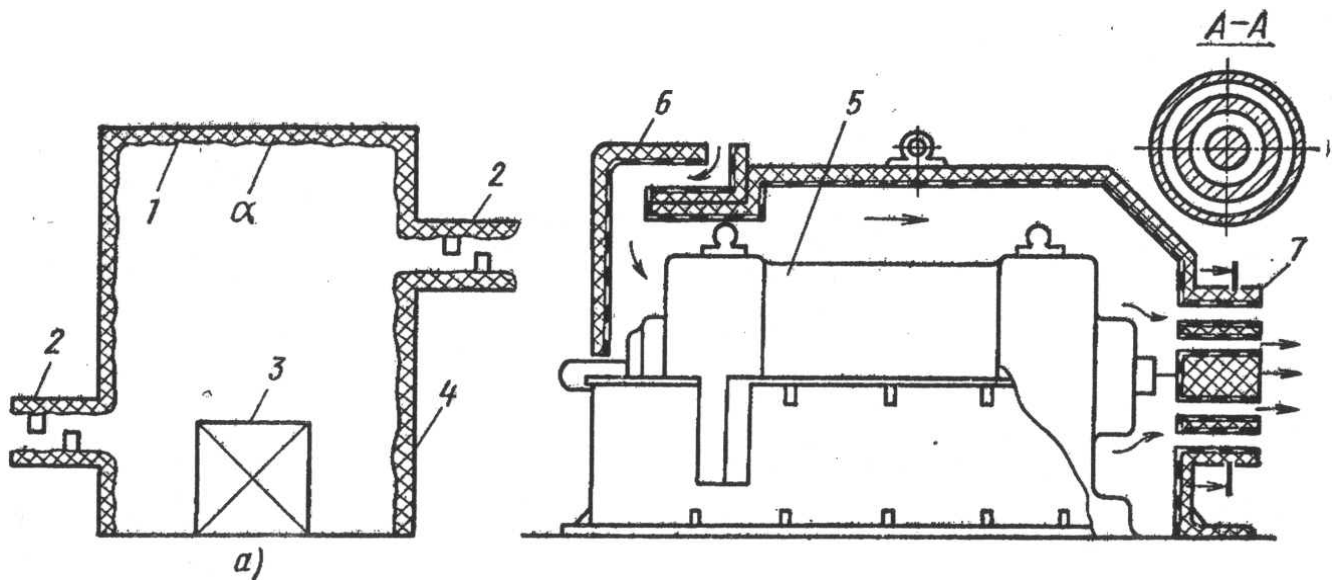
3.5 Звукоизолирующие кожухи

3.5.1 Методика расчета

Устройство звукоизолирующих кожухов, полностью закрывающих самые шумные агрегаты, является наиболее простым и дешевым способом снижения шума в производственных помещениях с технологическим оборудованием. Кожухи позволяют существенно снизить шум в непосредственной близости от работающего оборудования на ближайших к нему рабочих местах, что невозможно сделать с помощью других строительно-акустических мероприятий. Кожух должен плотно закрывать источник шума, но при этом не соприкасаться с ним, так как это дает отрицательный эффект (кожух становится дополнительным источником шума).

Кожухи могут закрывать целиком весь источник шума и устанавливаться на полу помещения, а могут закрывать лишь наиболее шумную часть машины и крепиться к станине через виброизолирующие прокладки. Кожухи изготавливаются из стали, алюминиевых сплавов, фанеры, ДСП, стеклопластика и других листовых материалов. Внутренняя поверхность стенок кожуха обязательно облицована звукопоглощающим материалом (рисунок 3.15, а). С наружной стороны на кожух иногда наносится слой вибродемпфирующего материала. Кожух должен плотно закрывать источник шума.

Для машин, выделяющих тепло (электродвигатели, компрессоры, дизели и т.п.), кожухи снабжают вентиляционными устройствами с глушителями (рисунок 3.15, б).



а – схема кожуха; б – конструкция кожуха для электродвигателя; 1 – звукопоглощающий материал; 2 – глушитель шума; 3 – источник шума; 4 – стенка; 5- электродвигатель; 6,7 – каналы с глушителями для входа и выхода

Рисунок 3.15 – Звукоизолирующий кожух.

Под звукоизоляцией кожуха понимают снижение звуковой мощности шума, излучаемого источником в окружающее пространство, в результате установки на источник звукоизолирующего кожуха.

Звукоизоляция кожуха зависит от конструкции и материала стенок кожуха, его формы и наличия звукопоглощающей облицовки внутри кожуха.

Требуемая звукоизоляция кожуха $R_{\text{кож.тр.}}$, дБ рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{кож.тр.}} = L - L_n + 5, \quad (3.25)$$

где L - октавный уровень звукового давления в расчетной точке до установки кожуха, дБ;

L_n - допустимые октавные уровни звукового давления на рабочем месте, дБ.

Для сплошного герметичного кожуха в форме прямоугольного параллелепипеда, полностью закрывающего источник шума, требуемая звукоизоляция $R_{г.тр.}$, дБ для каждой грани равна:

$$R_{г.тр.} = R_{кож.тр.} + 10 \lg \frac{S_{кож.}}{S_{ист}}, \quad (3.26)$$

где $S_{кож.}$ и $S_{ист}$ - площадь поверхности кожуха и воображаемой поверхности, вплотную окружающей источник шума, м².

Выбор стенок кожуха с требуемой звукоизоляцией производится по графикам частотных характеристик звукопоглощения пластин из различного материала в зависимости от их размеров, толщины и формы. На графиках (рисунки X.1, X.2 приложения X) приведены соответствующие характеристики для стальных пластин толщиной 1,5 – 2,0 мм и пластин из органического стекла толщиной 3 – 4 мм. При выборе характеристики звукоизоляции линейные размеры пластины должны примерно или точно соответствовать размерам грани кожуха. При размерах грани более 4х4 м величины R принимать такими же, как при размерах 4х4 м.

Если стенки кожуха выбранной толщины не обеспечивают $R_{г.тр.}$, дБ, а увеличение толщины металла дает излишнее увеличение звукоизоляции или значительное увеличение массы, повышение звукоизоляции стенок рекомендуется производить за счет облицовки (частично или полностью) стенок кожуха звукопоглощающим материалом толщиной не менее 30 мм.

Задача 12 Подобрать конструкцию звукоизолирующего кожуха на машину расположенную в помещении цеха, имеющую следующие габаритные размеры: длина l , м; ширина b , м; высота h , м. Уровни звукового давления на рабочем месте $L_{р.м.}$, дБ, для октавных полос с частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц и другие исходные данные приведены в таблице вариантов Н.1 приложения Н.

Порядок выполнения

1 Выбрать вариант по таблице Ц.1 (приложение Ц).

2 Ознакомиться с методикой.

3 Переписать форму таблицы Ш.1 (приложение Ш) и заполнить, согласно варианта значения уровней звукового давления создаваемый источникам на рабочем месте $L_{р.м.}$, дБ в девяти октавных полосах частот.

4 Используя нормативно-техническую документацию (таблица А.1 приложения А), заполнить строку нормативных уровней звукового давления L_n , дБ.

5 Используя формулу (3.25) рассчитываем требуемую звукоизоляцию кожуха $R_{\text{кож.тр.}}$, дБ результаты заносим в таблицу Ш.1(приложение Ш).

6 В соответствии с формой машины выбираем кожух в форме прямоугольного параллелепипеда с соответствующими размерами. Определяем площадь поверхности источника $S_{\text{ист}}$, м² и площадь поверхности кожуха $S_{\text{кож}}$, м².

7 Определяем требуемую звукоизоляцию стенок кожуха $R_{\text{с.тр.}}$, дБ по формуле (3.26).

8 По полученным значениям подбираем конструкцию стенок кожуха так, чтобы звукоизоляция каждой грани была не ниже $R_{\text{с.тр.}}$, дБ. Звукоизоляцию каждой грани кожуха определяем по графикам (рисунки Х.1, Х.2 приложения Х), округляя размеры граней кожуха до ближайших значений.

9 Анализируем звукоизоляцию стенок с $R_{\text{с.тр.}}$, дБ. Делаем вывод об эффективности применения выбранного звукоизолирующего материала.

10 Оформить выполненное задание в виде отчета и представить преподавателю.

3.6 Акустические экраны

3.6.1 Методика расчета

Акустические экраны в промышленных цехах целесообразно применять только для уменьшения интенсивности прямого звука или отгораживания наиболее шумного оборудования или участков от соседних рабочих, мест или рабочих мест от другого оборудования. Акустический экран представляет собой преграду ограниченных размеров, снижающую уровень прямого звука от источника шума за счет акустической тени. Собственная акустическая эффективность экрана – снижение уровня звукового давления прямого звука источника в точке, расположенной за экраном, в зоне его акустической тени. Экраны наиболее эффективны для снижения шума высоких и средних частот и плохо снижают низкочастотный шум из-за огибания экрана вследствие явления дифракции звука.

Акустические экраны следует применять для снижения уровня звукового давления от источников шума на рабочих местах, когда уровни звукового давления в них превышают допустимые значения не менее чем на 8 дБ и не более чем на 20 дБ и установка в помещении звукопоглощающей облицовки не обеспечивает требуемого снижения шума. Линейные размеры экрана не менее чем в 2-3 раза должны превосходить линейные размеры источников шума.

Акустические экраны изготавливают из сплошных твердых листов или щитов (например, металлических), облицованных звукопоглощающим

материалом, обращенным к источнику шума. Толщина звукопоглощающего слоя должна составлять не менее 50-60 мм. Стенка экрана должна иметь звукоизолирующую способность не ниже собственной акустической эффективности экрана.

Акустические экраны следует применять только совместно со звукопоглощающей облицовкой помещения, в первую очередь потолка, так как экран снижает только прямой звук и не влияет на интенсивность отраженного звука. Поэтому, даже если рабочее место расположено в зоне прямого звука источника шума, снижение его интенсивности за экраном будет способствовать увеличению вклада отраженного звука в суммарное поле на рабочем месте, что без снижения последнего приводит к значительному понижению эффективности экрана.

Из сказанного ясно также, что экраны целесообразно устанавливать около оборудования, создающего наибольший вклад прямого звука в уровень звукового давления на рабочем месте. Это оборудование должно входить в число ближайших к рассматриваемому рабочему месту источников шума.

Рекомендуются два типа экранов: плоский – типа а и П-образный – типа б. Формы и конструкции экранов представлены на рисунке 3.16. Предпочтительнее экраны П-образной формы.

Акустические экраны образуют звуковую тень, размеры которой 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 критерий затухания M определяют по формуле:

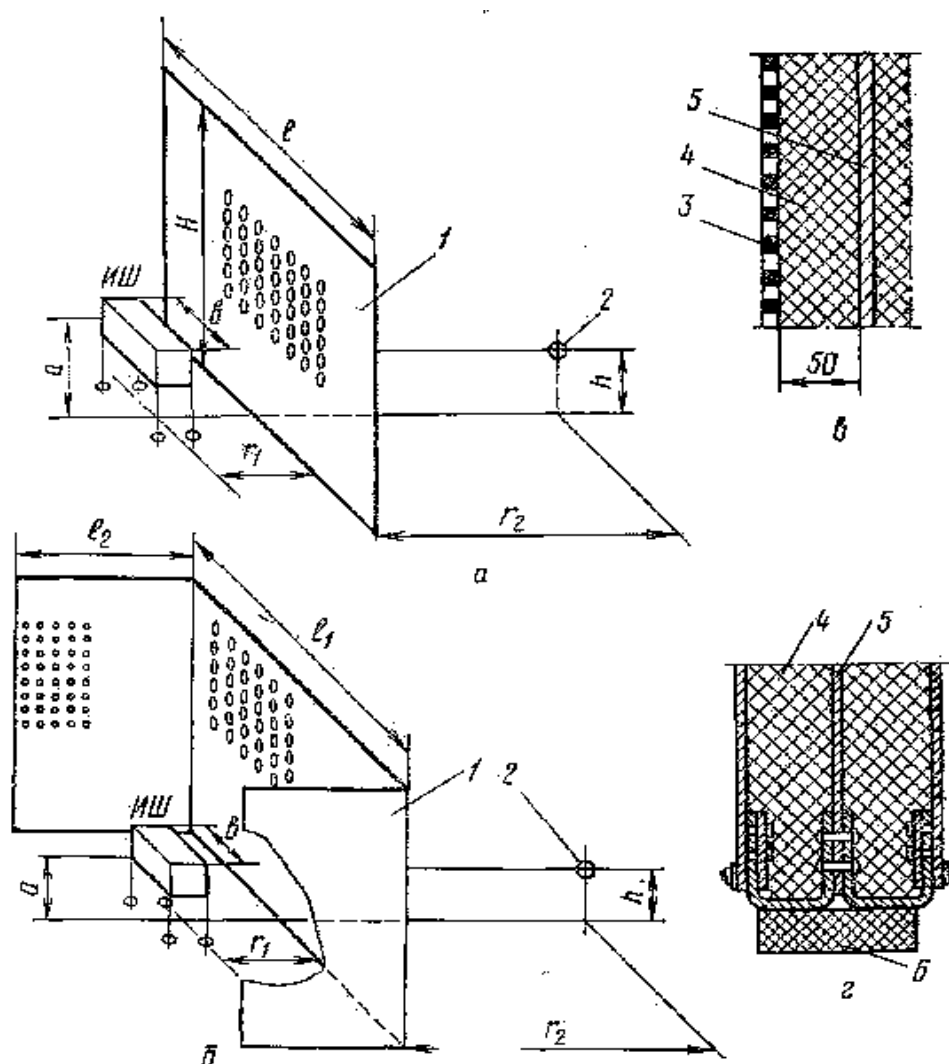
$$M = 1,414 \cdot h / \sqrt{\lambda} \cdot \sqrt{(x + y) / x \cdot y}, \quad (3.27)$$

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

x - расстояние от экрана до источника шума, м;

y - расстояние от экрана до расчетной точки, м;

λ - длина волны, м.



а – плоский экран; б – П-образный экран; г – конструкция основания экрана; ИШ – источник шума; 1 – экран; 2 – расчетная точка; 3 – перфорированный лист; 4 – звукопоглотитель; 5 – сталь 2 мм; 6 – резиновая прокладка

Рисунок 3.16 – Формы и конструкции акустических экранов

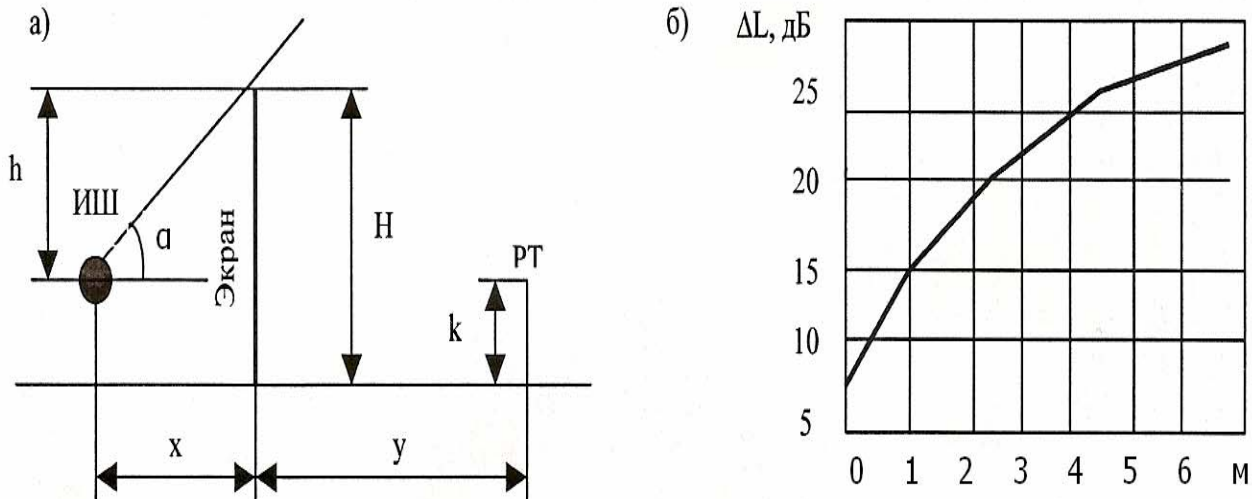
б) при расположении источника шума и рабочего места в разных уровнях критерий затухания M определяют по формуле:

$$M = \left[H + \frac{y(H-h)}{x} - k \right] \sqrt{\frac{2 \cdot x \cdot \cos \alpha}{\lambda \cdot y(x+y)}}, \quad (3.28)$$

где H - высота экрана, м;

k - высота расчетной точки от поверхности земли, м.

Определив значение критерия M , по графику (рисунок 3.17) находят эффективность экрана ΔL , дБ.



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 3.17 - Расчет эффективности акустического экрана

Проверочный расчет снижения уровня шума акустическим экраном, ΔL , дБ при расположении источника шума и расчетной точки на одном уровне, можно провести следующим способом, используя формулу:

$$\Delta L = 10 \lg W + 10 \quad (3.29)$$

где W - показатель, который определяется по формуле:

$$W = \frac{2}{\lambda} \left[a \left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{a} \right)^2} - 1 \right) + e \left(\sqrt{1 + \left(\frac{H}{e} \right)^2} - 1 \right) \right] \quad (3.30)$$

где λ - длина звуковой волны, м;

a - расстояние от источника шума до экрана, м;

b - расстояние от экрана до расчетной точки, м;
 H - высота экрана, м.

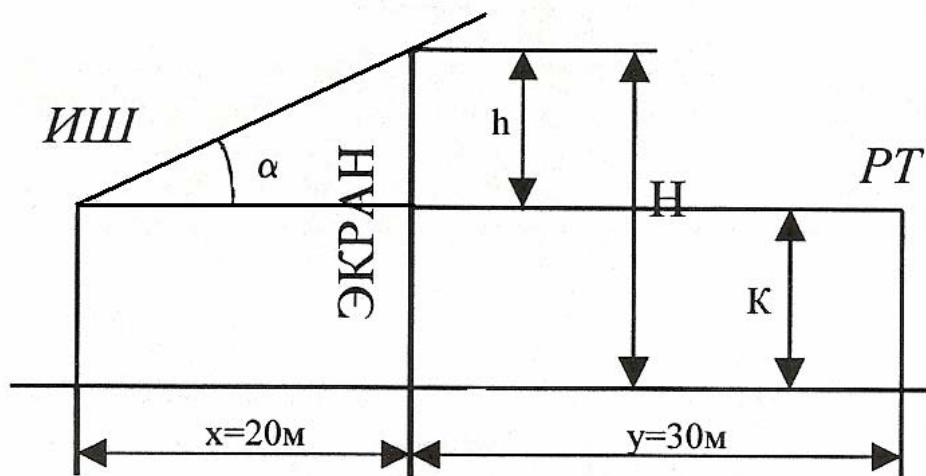


Рисунок 3.18 - Схема расположения экрана относительно источника шума *ИШ* и расчетной точки *РТ*

Задача 13

Расчетные уровни звукового давления L в октавных полосах частот от источника шума составляют L , дБ. Определить, будет ли обеспечено снижение шума до нормируемого значения, если установить акустический экран из органического стекла толщиной 10 мм и высотой $H = 3$ м. Расчетная точка РТ в зоне нахождения оператора и источник шума ИШ расположены на одном уровне.

Расстояние от экрана до ИШ = x , м. Расстояние от экрана до РТ = y , м.

Порядок выполнения

- 1 Выбрать вариант по таблице Щ.1 (приложение Щ).
- 2 Ознакомиться с методикой.
- 3 Вычертим поперечный разрез места расположения ИШ, экрана и РТ.
- 4 Переписать форму таблицы Э.1 (приложение Э) и заполнить, согласно варианта значения уровней звукового давления создаваемые источникам L , дБ в девяти октавных полосах частот.
- 5 Используя методику расчета по формуле (3.27) определяем критерий затухания M .
- 6 Используя график (рисунок 3.5 б) и значение M определяем величину снижения шума ΔL .
- 7 Используя нормативно-техническую документацию (таблица А.1 приложения А), заполняем строку нормативных уровней звукового давления L_n , дБ.

8 Находим превышение нормы и делаем вывод об эффективности применения данного экрана.

9 Оформить выполненное задание в виде отчета и представить преподавателю.

Задача 14

Произвести проверочный расчет снижения шума в производственном цехе за счет применения акустического экрана.

Расстояние от экрана:

- до источника шума, a , м;

- до рабочего места, b , м.

Высота экрана, H , м.

Уровни звукового давления от источника шума L_i , дБ.

Принимаем, что расчетная точка и источник шума расположены на одном уровне.

Порядок выполнения

1 Выбрать вариант по таблице Ю.1 (приложение Ю).

2 Ознакомится с методикой.

3 Переписать форму таблицы Я.1 (приложение Я) и заполнить, согласно варианта значения уровней звукового давления создаваемые источниками L , дБ в девяти октавных полосах частот и другие данные.

4 Используя нормативно-техническую документацию (таблица А.1 приложения А), заполняем строку нормативных уровней звукового давления L_n , дБ.

5 Используя формулу (2.1) определяем требуемый уровень снижения шума до нормативного $L_{тр}$, дБ.

6 Используя формулу (3.30) рассчитываем показатель W .

7 По формуле (3.29) определяем снижение уровня шума акустическим экраном ΔL , дБ. Проводим анализ значений $L_{тр}$, дБ и ΔL , дБ и делаем вывод по удовлетворению условию защиты рабочего места от шума.

Список использованных источников

- 1 Василенко, В.А. Методическое указание по выбору звукоизолирующих материалов и конструкций при проектировании зданий и сооружений/ В.А. Василенко, И.В. Минеева. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 1988. – 31 с.
- 2 **ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.** – Введ. 1983-06-06. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 78 с.
- 3 **Кацнельсон, М.У.** Снижение шума машин пищевых производств/ М.У. Кацнельсон, Б.А. Селиверстов, И.Е. Цукерников. – М.: Агропромиздат, 1986. – 256 с.
- 4 **Лагунов Л.Ф.** Борьба с шумом в машиностроении/ Л.Ф. Лагунов, Г.Л. Осипов. – М.: «Машиностроение», 1980. – 150 с.
- 5 Охрана труда в машиностроении: уч. для вузов./ под ред. Е.Я Юдина.– М.: «Машиностроение», 1976 – 335 с.
- 6 **СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96.** Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: санитарные нормы. – Введ. 1996-10-31. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1996. – 20 с.
- 7 **СНиП 23-03-2003.** Защита от шума. – Введ. 2004-01-01. – СПб.: СПбГУ, 2004. – 58 с.
- 8 Справочная книга по охране труда в машиностроении/ Г.В. Бектобеков [и др.]; под. общ. ред. О.Н. Русака. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 541 с.: ил.
- 9 **Юдин, Е.Я.** Борьба с шумом на производстве: справочник/ Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.

Приложение А (справочное)

Таблица А.1 – Предельно допустимые уровни звукового давления и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест СН 2.2.4/2.1.8.562-96

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2 Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории: рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3 Работа, выполняется с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа, требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская работа. Рабочие место в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону; машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4 Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами. Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5 Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в п.п. 1 – 4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Подвижной состав железнодорожного транспорта										
6 Рабочие места в кабинах машинистов тепловозов, электровозов, поездов метрополитена, дизель-поездов и автомотрис	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7 Рабочие места в кабинах машинистов скоростных и пригородных электропоездов	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
8 Помещение для персонала вагонов поездов дальнего следования, служебных помещений, помещений для отдыха багажных и почтовых отделений	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
9 Служебные помещения багажных и почтовых вагонов, вагонов ресторанов	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Автобусы, грузовые, легковые и специальные автомобили										
Рабочие места водителей и обслуживающего персонала грузовых автомобилей	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Рабочие места водителей и обслуживающего персонала (пассажиры) легковых автомобилей и автобусов	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Сельскохозяйственные машины и оборудование, строительно-дорожные, мелиоративные и др. аналогичные виды машин										
Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных машин	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Пассажирские и транспортные самолеты и вертолеты										
Рабочие места в кабинах и салонах самолетов и вертолетов : допустимые оптимальные	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Таблица А.2 - Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах ГОСТ 12.1.003-83

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в составных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалент ные уровни звука, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Предприятия, учреждения и организации										
1 Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность:										
рабочие места в помещениях — дирекции, проектно-конструкторских бюро; расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2 Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории:										
рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, лабораториях	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
3 Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами, работа, требующая постоянного слухового контроля, операторская работа по точному графику с инструкцией, диспетчерская работа:										
рабочие места в помещениях диспетчерской службы, кабинетах и помещениях наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, машинописных бюро, на участках точной сборки, на телефонных и телеграфных станциях, в помещениях мастеров, в залах обработки информации на вычислительных машинах	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Продолжение таблицы А.2

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в составных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------------

	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	эквивалентные уровни звука, ДБА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4 Работа, требующая сосредоточенности, работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами:										
рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону; в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5 Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в пп. 1—4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Подвижной состав железнодорожного транспорта										
6 Рабочие места в кабинах машинистов тепловозов, электровозов, поездов метрополитена, дизель-поездов и автомотрис	99	95	87	82	78	75	73	71	69	80
7 Рабочие места в кабинах машинистов скоростных и пригородных электропоездов	99	91	83	77	73	70	68	66	64	75
8 Помещения для персонала вагонов поездов дальнего следования, служебных отделений рефрижераторных секций, вагонов электростанций, помещений для отдыха в багажных и почтовых отделениях	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
9 Служебные помещения багажных и почтовых вагонов, вагонов-ресторанов	96	87	79	72	68	65	63	61	59	70
Морские, речные, рыбопромысловые и др. суда										
10 Рабочая зона в помещениях энергетического отделения морских судов с постоянной вахтой (помещения, в которых установлена главная энергетическая установка, котлы, двигатели и механизмы, вырабатывающие энергию и обеспечивающие работу различных систем и устройств)	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Продолжение таблицы А.2

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в составных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровни звука и эквивалент
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		

										ные уровни звука, ДБА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11 Рабочие зоны в центральных постах управления (ЦПУ) морских судов (звукоизолированные), помещениях, выделенных из энергетического отделения, в которых установлены контрольные приборы, средства индикации, органы управления главной энергетической установкой и вспомогательными механизмами	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
12 Рабочие зоны в служебных помещениях морских судов (рулевые, штурманские, багермейстерские рубки, радиорубки и др.)	89	75	66	59	54	50	47	45	44	55
13 Производственно-технологические помещения на судах рыбной промышленности (помещения для переработки объектов промысла рыбы, морепродуктов и пр.)	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Тракторы, самоходные шасси, самоходные, прицепные и навесные сельскохозяйственные машины, строительно-дорожные, землеройно-транспортные, мелиоративные и другие аналогичные виды машин										
14 Рабочие места водителей и обслуживающего персонала автомобилей	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
15 Рабочие места водителей и обслуживающего персонала (пассажиров) легковых автомобилей	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
16 Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов самоходных шасси, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин, строительно-дорожных и других аналогичных машин	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
17 Рабочие места в кабинах и салонах самолетов и вертолетов	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Приложение Б

(обязательное)

Варианты для решения задач 1, 2, 3

Таблица Б.1 – Варианты для решения задачи 1

Вариант	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$L_{A_{экв}}$, дБА
1	88	5	83	9	89	13	101	17	85
2	96	6	95	10	82	14	109	18	106
3	86	7	102	11	84	15	99	19	103
4	93	8	112	12	95	16	107	20	108

Таблица Б.2 – Варианты для решения задачи 2

Вариант	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$L_{A_{экв}}$, дБА
1	92	5	95	9	91	13	91	17	89
2	94	6	107	10	99	14	96	18	87
3	88	7	85	11	97	15	90	19	83
4	86	8	106	12	110	16	100	20	104

Таблица Б.3 – Варианты для решения задачи 3

Вариант	$T_1, T_2, T_{ост}$	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$T_1, T_2, T_{ост}$	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$T_1, T_2, T_{ост}$	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$T_1, T_2, T_{ост}$	$L_{A_{экв}}$, дБА	Вариант	$T_1, T_2, T_{ост}$	$L_{A_{экв}}$, дБА
1	1 час 15 мин	85 100 80	5	1 час 15 мин	85 100 80	9	35 мин 2 часа	99 87 86	13	1 час 25 мин	85 101 80	17	4 часа 10 мин	93 78 90

2	2 часа 40 мин	96 90 80	6	2 часа 20 мин	91 93 84	10	50 мин 4 часа	91 93 78	14	2 часа 20 мин	99 95 80	18	2 часа 30 мин	78 90 105
3	1 час 15 мин	91 89 85	7	3 часа 45 мин	80 90 87	11	10 мин 2 часа	85 100 86	15	7 часов 15 мин	99 102 80	19	5 часов 20 мин	99 95 89
4	2 часа 40 мин	83 99 82	8	5 часов 1 час	99 108 80	12	3 часа 40 мин	93 84 91	16	30 мин 6 часов	98 87 91	20	6 часов 50 мин	100 86 99

Приложение В

(обязательное)

Варианты для задач 4,5,6

Таблица В.1 - Варианты для задачи 4

Вариант	Количество источников шума	Уровень шума, дБ	Вариант	Количество источников шума	Уровень шума, дБ	Вариант	Количество источников шума	Уровень шума, дБ	Вариант	Количество источников шума	Уровень шума, дБ
1	9	88	6	4	95	11	7	84	16	2	107
2	8	96	7	3	102	12	6	95	17	5	85
3	7	86	8	2	112	13	3	99	18	4	106
4	6	93	9	9	89	14	4	109	19	3	103
5	5	83	10	8	82	15	3	99	20	2	108

Таблица В.2 - Варианты для задачи 5

Вариант	Оборудование	Вариант	Оборудование	Вариант	Оборудование	Вариант	Оборудование
1	1,2,3	6	7,8,9	11	7,9,11	16	7,9,11
2	2,3,4	7	8,9,10	12	2,4,7	17	3,4,10
3	3,4,5	8	9,10,11	13	3,6,8	18	3,8,9
4	5,6,7	9	1,3,5	14	5,7,9	19	1,6,7
5	6,7,8	10	4,6,8	15	6,8,10	20	2,3,8

Таблица В.3 - Уровни звукового давления технологического оборудования

Наименование оборудования	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ковочный молот	122	123	124	121	121	121	115	115	106
Кривошипный пресс ГП-1	101	102	106	108	110	112	112	109	104
Автомат обрезной А-231	96	96	95	100	102	102	99	96	93
Резьбонакатный автомат А-2528	93	95	100	104	108	110	108	105	101

Дробилка, КПД 3000 т.	93	93	92	94	95	91	84	75	66
Ленточный конвейер	104	105	106	107	99	96	92	89	85
Магнитный кран	95	96	101	101	91	78	76	74	73
Электродпечь	98	100	99	98	100	102	101	95	88
Токарный станок	94	94	96	91	92	88	89	93	90
Сверлильный станок	101	106	113	110	114	112	100	106	101
Шлифовальный станок	109	108	105	102	100	110	107	104	103

Приложение Г

(обязательное)

Таблица Г.1 – Задача 5 (расчет суммарного уровня шума и определение требуемого уровня снижения шума)

Параметр	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Уровень звукового давления,
создаваемый источником шума
в помещении, дБ

L_1 (оборудование)

L_2 (оборудование)

L_3 (оборудование)

Уровни звукового давления в
помещении $L_{\text{сум}}$, дБ

Нормативный уровень
звукового давления L_n , дБ

Требуемый уровень снижения
шума $L_{\text{тр}}$, дБ

Таблица В.2 и В.3
(приложение В)

Формула 2.3

СН 2.2.4/2.1.8.562-96

Формула 2.1

Приложение Д (обязательное)

Таблица Д.1 – Варианты для задачи 6

Номер варианта	Уровень звукового давления, создаваемый источником шума L_i , дБ в октавных полосах частот, Гц									l , м	Φ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	108	107	100	99	98	92	90	93	97	40	7
2	100	105	106	108	110	105	102	100	99	60	5
3	111	108	105	100	102	100	98	95	95	55	6
4	102	104	105	100	98	97	98	96	99	45	6
5	100	102	95	90	89	88	83	81	79	66	7
6	99	107	111	112	114	110	105	98	93	45	5
7	96	98	100	107	106	101	97	93	87	62	6
8	102	104	105	100	98	102	104	101	90	56	6
9	105	95	94	94	90	99	96	92	91	47	7
10	110	102	105	90	88	85	83	81	79	92	5
11	90	93	96	100	104	107	108	105	100	100	7
12	118	119	110	107	99	89	89	88	89	70	5
13	90	95	97	108	107	107	99	95	95	67	6
14	101	105	106	108	99	97	96	93	90	40	6
15	99	101	108	110	108	105	100	96	90	38	7
16	100	102	95	90	89	88	83	81	79	55	1
17	99	107	111	112	114	110	105	98	93	45	6
18	118	119	110	107	99	89	89	88	89	66	7
19	90	95	97	108	107	107	99	95	95	45	1
20	108	107	100	99	98	92	90	93	97	100	7

Приложение Е
(обязательное)

Таблица Е.1 – Задача 6 (расчет снижения шума за счет увеличения расстояния от источника шума до рабочего места)

Параметр	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц									
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Уровень звукового давления,	Таблица Д.1										

создаваемый источником шума L , дБ	(приложение Д)
Расстояние от центра источника шума до расчетной точки l , м	Таблица Д.1 (приложение Д)
Фактор направленности источника шума Φ	Таблица Д.1 (приложение Д)
Коэффициент затухания звука в атмосфере Δr_i , дБ/км	Таблица 3.1
Уровень звукового давления L_i , дБ	Формула 3.1
Нормативный уровень звукового давления L_n , дБ	СН 2.2.4/2.1.8.562-96
Требуемый уровень снижения шума L_{mp} , дБ	Формула 2.1

Приложение Ж

(справочное)

График зависимости постоянной помещения (B) от его объема (V)

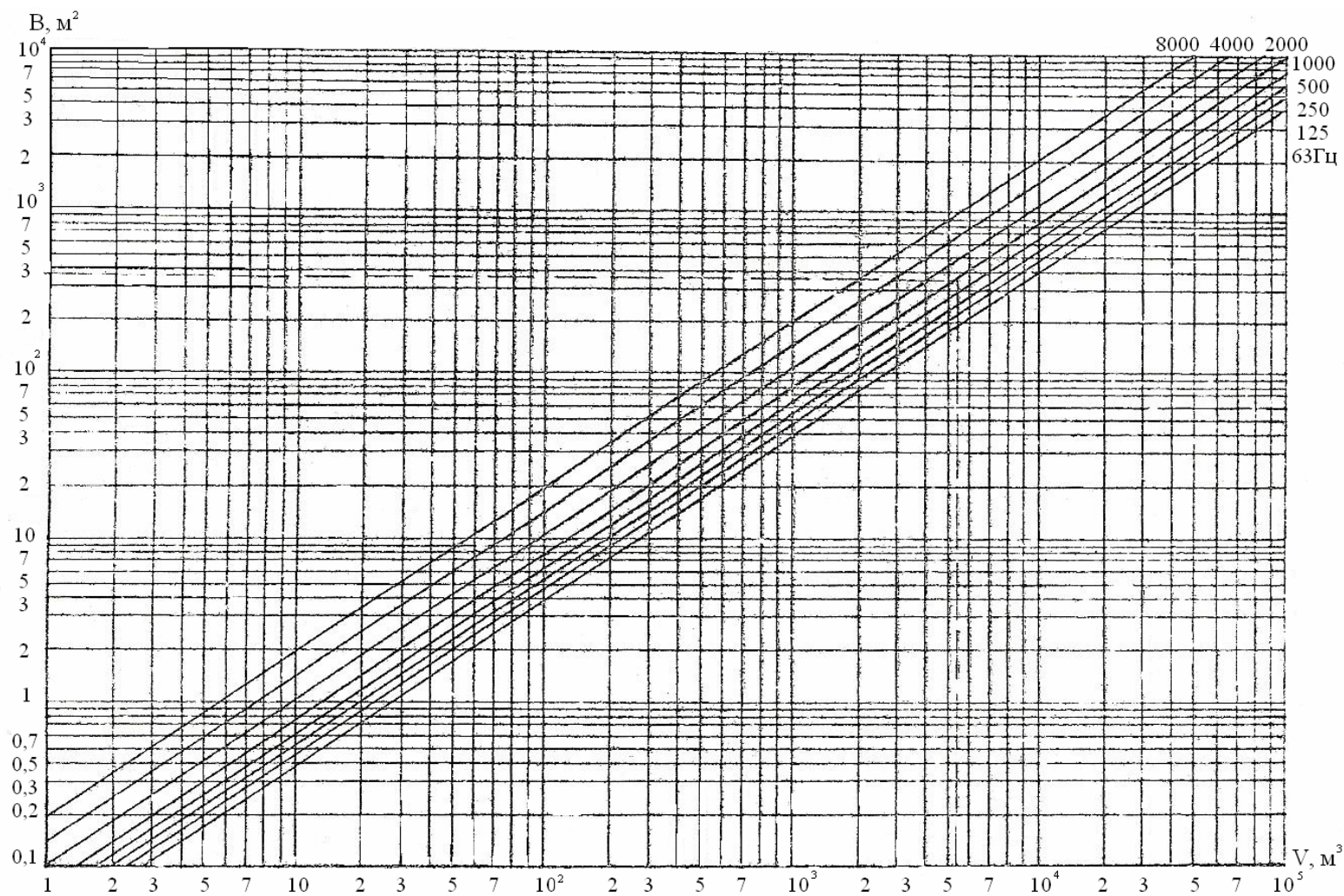


Рисунок Ж.1 – График зависимости постоянной помещения (B) от его объема (V)

Приложение И (справочное)

Таблица И.1 – Коэффициенты звукопоглощения акустических материалов

Материал	Толщина, мм	Воздушный зазор, мм	Коэффициент звукопоглощения на частотах								
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Минераловатные плиты жесткие «Акмигран»	20	0	0,04	0,05	0,11	0,30	0,85	0,90	0,78	0,72	0,75
		50	0,06	0,07	0,20	0,71	0,83	0,81	0,71	0,79	0,80
		100	0,10	0,10	0,48	0,71	0,70	0,79	0,77	0,62	0,65
«Акминит»	20	0	0,05	0,06	0,08	0,27	0,67	0,83	0,83	0,78	0,80
		50	0,07	0,10	0,24	0,07	0,82	0,75	0,80	0,75	0,78
		200	0,06	0,12	0,51	0,69	0,64	0,77	0,87	0,78	0,80
Минераловатные плиты ПАО (окрашенные и перфорированные)	20	0	0,04	0,06	0,03	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,50
		55	0,01	0,03	0,05	0,02	0,98	0,90	0,79	0,45	0,52
		200	0,06	0,06	0,20	0,52	0,98	0,89	0,80	0,45	0,55
Асбоцементные перфорированные плиты	50	0	0,05	0,06	0,23	0,75	1,00	0,91	0,82	0,60	0,50
		50	0,15	0,20	0,30	0,63	0,86	0,72	0,54	0,45	0,40
		250	0,20	0,30	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90
Холст ультратонкого базальтового волокна в оболочке из стеклоткани	100	0	0,04	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		50	0,06	0,44	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		100	0,1	0,47	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		150	0,08	0,44	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Маты из супертонкого стекловолокна, оболочка из стеклоткани ССТЭ-6	50	0	0,04	0,06	0,11	0,34	0,83	0,91	0,93	0,98	0,99
Плиты звукопоглощающие гипсовые литые	20	50	0,03	0,04	0,22	0,74	0,91	0,63	0,49	0,33	0,43
		100	0,02	0,04	0,23	0,82	0,84	0,54	0,52	0,32	0,50

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Штукатурка акустическая цементно-пемзовая АЦП	25	0	0,10	0,12	0,27	0,31	0,31	0,33	0,34	0,40	0,41

Войлок	из	11	50	0,10	0,13	0,41	0,73	0,93	1,0	1,0	1,0	1,0
поливинилхлоридных		22	50	0,23	0,28	0,50	0,87	0,93	0,92	0,92	0,97	1,0
волокон ПВХ												
Панели	из	12	50	0,20	0,22	0,30	0,34	0,32	0,41	0,42	0,45	0,45
древесноволокнистых плит												
Плиты	декоративно-											
акустические	двухслойные	20	50	0,15	0,25	0,30	0,33	0,44	0,69	0,88	0,92	0,69
«Брекчия»												
Занавес	из плюшевой	4	-	0,14	0,30	0,35	0,55	0,72	0,70	0,70	0,69	0,67
ткани, масса	м ² 0,65 кг											

Приложение К

(справочное)

Номограмма для расчета ΔA_{mp}

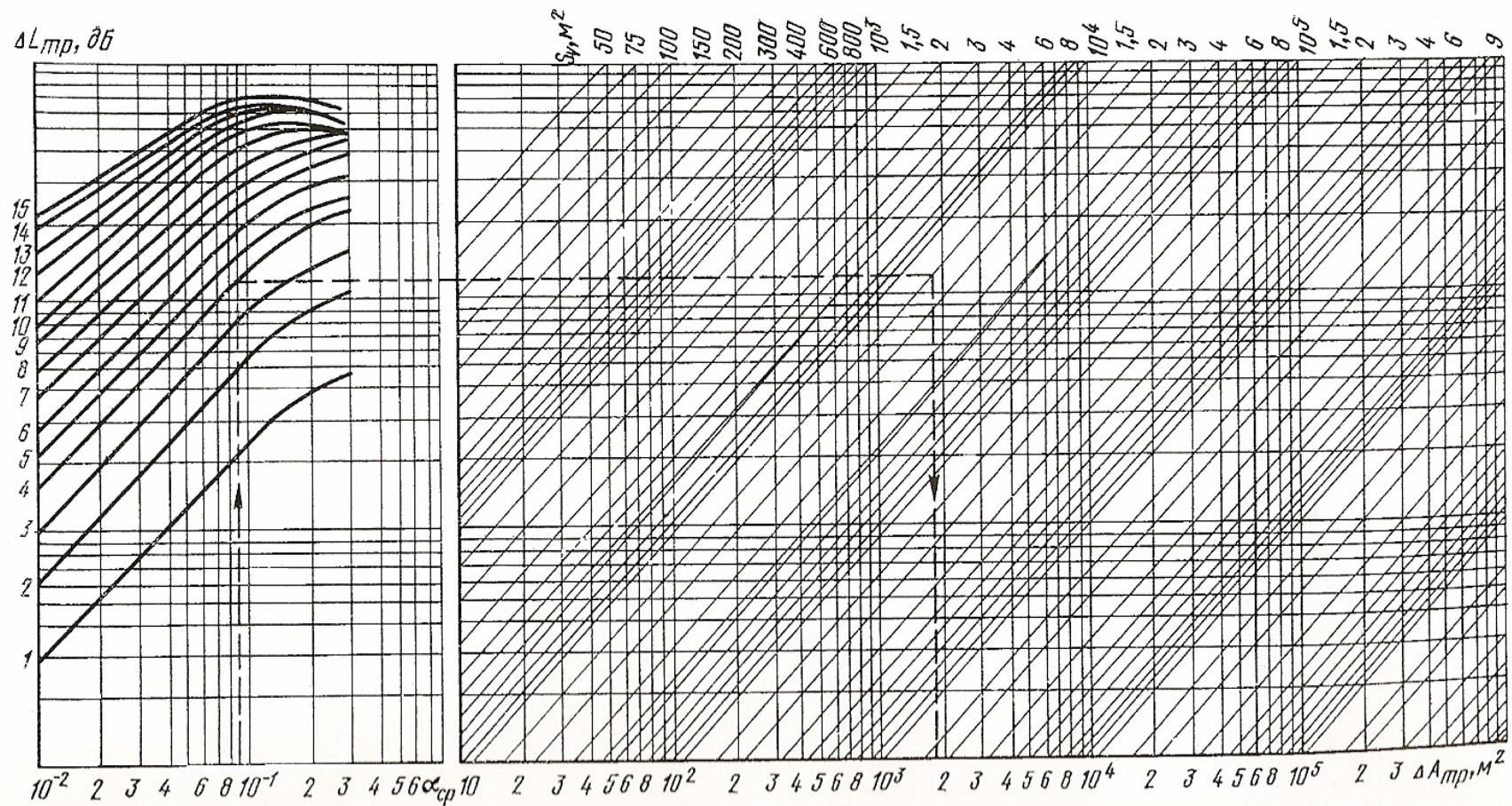


Рисунок К.1 - Номограмма для расчета $\Delta L_{тр}$ по известным величинам: среднему коэффициенту звукопоглощения α , величине требуемого снижения уровня звукового давления $L_{тр}$ и общей площади S ограждающих конструкций помещения

Приложение Л

(обязательное)

Таблица Л.1 - Варианты задачи 7

Номер варианта	Источник шума		Уровень звукового давления, создаваемый источником шума в помещении, дБ в октавных полосах частот, Гц									V , м ³		
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>h</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Сепаратор Ж5-ОТР	L_1	85	86	88	90	91	91	91	88	84			
	Ванна пастеризационная ВДП-300	L_2	80	81	87	86	86	88	77	70	65	30	11	4,5
	Разливочный автомат ВРЦ	L_3	80	81	84	86	91	94	97	94	87			
2	Разливочный автомат Т1-ВРЦ	L_1	81	84	86	91	94	96	98	94	87			
	Этикетировочный автомат А1-ВЭС	L_2	81	89	90	89	91	94	95	86	78	55	20	5
	Машина бутылкомоечная ВМГ-24	L_3	95	92	94	101	103	101	99	98	91			
3	Измельчитель мяса А1-ФАФ/2	L_1	95	87	89	90	88	87	86	84	77			
	Пресс пневматический Д52482	L_2	90	91	96	100	93	93	90	84	82	43	15	3,5
	Охладитель батонов колбасы А1-ФЛЛ4	L_3	84	87	86	85	84	77	74	65	53			

Продолжение таблицы Л.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	Установка заквасочная ОЗУ-600	L_1	75	74	72	76	77	76	83	75	67	25	8	3
	Пастеризационно-	L_2	83	85	67	73	71	74	66	65	61			

охладительная установка														
ПОУ														
Автомат фасовки и упаковки творога М6-ОРЗ-В2														
5		L_3	89	88	87	93	93	92	91	89	87			
	Просеиватель «Пионер»	L_1	88	89	89	90	95	98	87	88	85			
	Тестомесильная машина «Стандарт»	L_2	94	86	85	94	87	85	77	75	72	52	8	4
6	Тестоокруклитель А2-ХТН	L_3	83	86	88	94	89	80	79	73	68			
	Просеиватель ПБ-1,5	L_1	75	74	72	76	77	76	83	75	67			
	Дробилка 8М	L_2	83	85	67	73	71	74	66	65	61	32	10	3,8
7	Дозатора сыпучих компонентов Ш-2-ХДА	L_3	88	89	89	90	95	98	87	88	85			
	Формующая машина	L_1	85	86	88	90	91	91	91	88	84			
	Калибровочная машина	L_2	94	86	85	94	87	85	77	75	72	25	7	3
8	Ленточный транспортер	L_3	84	87	86	85	84	77	74	65	53			
	Калибровочная машина	L_1	94	86	85	94	87	85	77	75	72			
	Упаковочная машина	L_2	95	87	89	90	88	87	86	84	77	30	9	3
	Дробилка 8М	L_3	90	91	96	100	93	93	90	84	82			

Продолжение таблицы Л.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
9	Ленточный транспортер	L_1	84	87	86	85	84	77	74	65	53	42	11	4
	Тестомесильная машина «Стандарт»	L_2	94	86	85	94	87	85	77	75	72			

	Тестоделитель ДПА-1	L_3	83	86	88	94	89	80	79	73	68			
	Машина для очистки овощей	L_1	95	92	94	101	103	101	99	98	91			
10	Овощерезательный механизм	L_2	95	87	89	90	88	87	86	84	77	15	5	2,9
	Электромясорубка	L_3	90	91	96	100	93	93	90	84	82			
11	Укладчик тестовых заготовок ФТЛ	L_1	99	87	89	90	88	86	86	84	77			
	Расстойно-печной агрегат ФТЛ-2	L_2	100	106	104	103	100	96	94	85	80	55	12	5
	Циркуляционный стол	L_3	84	87	86	85	84	77	76	75	73			
12	Вентилятор Ц4-70	L_1	44	50	56	60	65	62	55	47	48			
	Вентилятор ВВД	L_2	60	65	66	68	72	80	85	81	83	10	3	2,8
	Жарочный шкаф	L_3	86	85	94	87	85	89	95	92	89			
13	Макаронный пресс	L_1	100	106	104	103	100	96	94	85	80			
	Сушильный шкаф	L_2	75	74	72	76	77	76	83	75	67	42	6	4
	Вакуумный упаковщик	L_3	83	86	88	94	89	80	79	73	68			
14	Насос 36-3Ц-3	L_1	70	71	72	77	82	80	85	89	84			
	Насос П8-ОНБ	L_2	84	83	83	85	87	90	85	84	80	24	6	6
	Смеситель Б6-ОДБ/5	L_3	83	86	90	94	90	90	87	81	72			

Продолжение таблицы Л.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
15	Измельчитель мяса А1-ФЗК/2	L_1	95	97	87	89	88	89	84	77	78	33	7	4
	Охладитель батонков колбасы А1-ФЛЛ/5	L_2	84	86	87	85	84	77	74	65	53			

16	Смеситель Б6-ОДБ/5	L_3	83	84	85	94	90	90	87	81	72			
	Разливочный автомат Т1-ВРЦ	L_1	81	84	86	91	94	97	94	89	84			
	Сепаратор для осветления пива ВПО	L_2	90	93	91	92	88	88	87	87	82	32	8	5
17	Машина укупорочная Т1-ВРЦ-12	L_3	86	88	95	93	96	99	94	93	86			
	Установка сушильная А1-АРС	L_1	99	101	97	98	99	99	95	95	88			
	Автомат для фасовки сыра М6-АРУ	L_2	73	75	79	79	80	78	76	73	68	21	5	3
18	Сыродельная ванна Д7-ОСА-1	L_3	55	58	58	56	55	56	55	56	54			
	Гранулятор А1-ОГК/2	L_1	89	90	86	89	93	88	83	78	71			
	Этикетировочный автомат А1-ОЭД	L_2	86	87	88	94	91	86	81	76	68	18	4	3
	Теплообменник ОКП/5	L_3	77	77	77	79	79	77	74	70	62			
		A1-												

Продолжение таблицы Л.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
19	Эскимогенератор Л5-ОЭК	L_1	83	85	86	94	89	80	79	73	68			
	Автомат заверточный для мороженого Л5-ОЗЛ	L_2	81	85	86	88	83	82	77	73	68	15	5	3
	Автомат для выпечки вафельных стаканчиков	L_3	100	103	101	95	98	95	93	90	92			

20	A2-OBA														
	Аммиачная холодильная станция	L_1	90	89	92	94	96	85	82	80	80				
	Насос высокого давления K5-ОНВ	L_2	87	85	80	79	80	77	77	76	75	24	10	6	
	Теплообменник ОКС/2	A1- L_3	88	90	95	101	101	101	95	88	85				

Приложение М

(обязательное)

Таблица М.1 – Задача 7 (расчет акустической обработки помещений)

Параметр	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000

Уровень звукового давления, создаваемый источником шума в помещении, дБ L_1

L_2

L_3

Уровни звукового давления в помещении $L_{\text{сум}}$, дБ

Формула 2.3

Нормативный уровень звукового давления L_n , дБ

СН 2.2.4/2.1.8.562-96

Постоянная помещения B , м²

Рисунок Ж.1 приложения Ж

Средний коэффициент звукопоглощения акустически необработанного помещения

Формула 3.2

$\alpha_{\text{необр.}}$

Коэффициент звукопоглощения выбранного акустического материала $\alpha_{\text{обл.}}$

Таблица И.1 приложения И

Коэффициент звукопоглощения помещения после обработки

$$\alpha_{\text{обр.}} = \frac{\alpha_{\text{обл.}} \cdot S_{\text{обл.}} + \alpha_{\text{необр.}} (S - S_{\text{обл.}})}{S}$$

Акустический эффект от применения облицовочных конструкций $\Delta L_{\text{обл.}}$, дБ

Формула 3.3.3

Уровень шума после акустической обработки $L_{\text{обл.}}$, дБ

$$L_{\text{обл.}} = L - \Delta L_{\text{обл.}}$$

Приложение Н (обязательное)

Таблица Н.1 – Задача 8 (расчет площади звукопоглощающей облицовки)

Параметр	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000 8000

1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Уровни звукового давления в помещении $L_{\text{сум}}$, дБ	Задача 7									
Нормативный уровень звукового давления L_n , дБ	СН 2.2.4/2.1.8.562-96									
Требуемый уровень снижения шума $L_{\text{тр}}$, дБ	Формула 2.1									
Постоянная звукопоглощения помещения в октавных полосах частот B , м ²	Формула 3.9 и таблицы 3.2, 3.3									
Площадь ограждающих поверхностей помещения S , м ²	Формула 3.6									
Средний коэффициент звукопоглощения α	Формула 3.2									
Требуемая эквивалентная площадь звукопоглощения, обеспечивающая заданное снижение уровня звукового давления $\Delta A_{\text{тр}}$, м ²	Рисунок К.1 приложения К									
Реверберационный коэффициент звукопоглощения звукопоглощающей облицовки $\alpha_{\text{обл}}$	Таблица И.1 приложения И									
Площадь звукопоглощающей облицовки $S_{\text{обл}}$, м ²	Формула 3.14									
Количество штучных звукопоглотителей $n_{\text{шт}}$ (при необходимости)	Формула 3.15									

Приложение П (обязательное)

Таблица П.1 - Варианты задачи 9

Номер варианта	Уровень звукового давления, создаваемый источником шума в помещении L , дБ в октавных полосах частот, Гц									V , м ³		
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	a	b	h

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	85	86	88	90	91	91	91	88	84	30	11	4,5
2	81	84	86	91	94	96	98	94	87	55	20	5
3	83	85	86	94	89	80	79	73	68	52	8	4
4	81	85	86	88	83	82	77	73	68	23	8	4
5	95	97	87	89	88	89	84	77	78	15	6	4
6	84	86	87	85	84	77	74	65	53	32	10	3,8
7	83	84	85	94	90	90	87	81	72	20	8	3
8	81	84	86	91	94	97	94	89	84	21	6	4
9	80	81	84	86	91	94	97	94	87	25	7	3
10	81	84	86	91	94	96	98	94	87	23	8	4
11	81	89	90	89	91	94	95	86	78	15	6	4
12	83	84	85	94	90	90	87	81	72	32	10	3,8
13	81	84	86	91	94	97	94	89	84	15	4	3
14	90	93	91	92	88	88	87	87	82	12	4	3
15	86	88	95	93	96	99	94	93	86	32	8	5
16	99	101	97	98	99	99	95	95	88	21	5	3
17	89	90	86	89	93	88	83	78	71	18	4	3
18	86	87	88	94	91	86	81	76	68	18	4	3
19	81	89	90	89	91	94	95	86	78	30	11	4,5
20	83	84	85	94	90	90	87	81	72	55	20	5

Приложение Р
(обязательное)

Таблица Р.1 – Задача 9 (расчет эффективности звукопоглощающей облицовки)

Параметр	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц									
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

Уровни звукового давления в помещении L , дБ	Таблица П.1 приложения П
Постоянная звукопоглощения помещения в октавных полосах частот B	Формула 3.9 и таблицы 3.2, 3.3
Площадь ограждающих поверхностей помещения S , м ²	Формула 3.6
Средний коэффициент звукопоглощения α	Формула 3.2
Нормативный уровень звукового давления L_n , дБ	СН 2.2.4/2.1.8.562-96
Требуемый уровень снижения шума $L_{тр}$, дБ	Формула 2.1
Требуемая эквивалентная площадь звукопоглощения, обеспечивающая заданное снижение уровня звукового давления $\Delta A_{тр}$, м ²	Рисунок К.1 приложения К
Реверберационный коэффициент звукопоглощения облицовки α_{obl}	Таблица И.1 приложения И
Площадь звукопоглощающей облицовки S_{obl} , м ²	Формула 3.14

1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Количество звукопоглотителей $n_{шт}$ (при необходимости)	Формула 3.15									
Эквивалентная площадь звукопоглощения необлицованных ограждающих поверхностей помещения A , м ²	Формула 3.11									

Эквивалентная площадь звукопоглощающих конструкций ΔA , м ²	Формула 3.12
Средний коэффициент звукопоглощения помещения со звукопоглощающими конструкциями $\alpha_{ср.обл}$	Формула 3.13
Постоянные звукопоглощения помещения, после установки в нем звукопоглощающих конструкций $B_{обл}$, м ²	Формула 3.10
Коэффициент ψ до установки в помещении звукопоглощающих конструкций	Рисунок 3.1
Коэффициент $\psi_{обл}$ после установки в помещении звукопоглощающих конструкций	Рисунок 3.1
Максимальное снижение уровня звукового давления ΔL_{max} , дБ	Формула 3.8

Продолжение таблицы Р.1

Приложение С (справочное)

Таблица С.1 – Звукоизолирующая способность стен и перегородок

Материал конструкции	Толщина	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кирпичная кладка	½ кирпича	30	32	39	40	42	48	54	60	60
(оштукатуренная с двух сторон)	1 кирпич	34	36	41	44	51	55	64	65	65

	1 ½ кирпича	40	41	44	48	55	61	65	65	65
	2 кирпича	43	45	45	52	59	65	70	70	70
	2 ½ кирпича	43	45	47	55	60	67	70	70	70
Виброкирпичная панель 120 мм, оштукатуренная с двух сторон цементным раствором толщиной 20 мм	160 мм	30	34	34	40	42	48	53	53	58
Виброкирпичная панель неоштукатуренная	160 мм	30	34	34	41	45	50	54	55	60
Железобетонная плита	40 мм	29	31	32	38	35	38	47	53	55
	50 мм	25	28	34	35	35	41	48	55	55
	100 мм	30	34	40	40	44	40	55	60	60
	160 мм	39	43	43	47	51	60	63	60	60
	200 мм	35	40	42	44	51	59	65	65	65
	300 мм	40	44	44,5	50	58	65	69	69	69
	400 мм	38	45	47,5	55	61	63	70	70	70
	800 мм	45	48	55	61	68	70	70	70	70
Гипсобетонная плита	80 мм	29	32	32	37	37	42	48	53	57
Керамзитобетонная плита	80 мм	30	31	33	34	39	47	52	54	57
	120 мм	31	33	33	37	39	47	57	60	60
Газобетонная плита	240 мм	28	32	39	42	51	56	54	52	55
Пемзобетонная панель, оштукатуренная с двух сторон	130 мм	34	39	39	39	46	50	60	65	65
Шлакобетонная панель	250 мм	23	29	30	45	52	59	64	64	64
	140 мм	30	34	36	41	45	49	51	51	55

Продолжение таблицы С.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Шлакоблоки, оштукатуренные с двух сторон	220 мм	37	41	42	42	48	54	60	60	60
Армированная силикатобетонная панель	140 мм	28	29	34	41	46	55	59	59	60
Древесностружечная плита	20 мм	18	20	23	26	26	26	26	26	33
Фанера	3 мм	5	7	11	14	19	23	26	27	26
	4 мм	6	8	12	16	20	24	27	27	27
	5 мм	9	9	13	17	21	25	28	26	29
	8 мм	11	12	16	20	24	27	27	27	32

Стеклопластик	10 мм	10	13	17	21	25	28	25	29	33
	3 мм	5	9	13	17	21	25	29	31	32
	5 мм	11	12	16	20	24	28	31	31	34
	8 мм	13	15	19	23	27	30	31	33	37
	10 мм	17	17	21	25	28	31	31	34	38
Стеклоблоки	98мм	25	37	40	42	45	48	50	48	40
Стальной лист с минеральной ватой толщиной 70 мм	1,5 мм	12	15	20	26	35	39	40	46	48
Алюминиево-магниевого сплавы (панели с ребрами жесткости, размер ячеек между ребрами не более 1х1 м)	1 мм	5	6	10	12	18	22	25	29	28
	2 мм	9	10	14	18	22	26	29	27	25
	3 мм	11	12	16	20	24	28	31	22	30
Сталь (панели с ребрами жесткости, размер ячеек между ребрами не более 1х1 м)	0,7 мм	8	8	15	19	23	26	30	34	37
	1 мм	11	13	17	21	25	28	32	36	35
	2 мм	10	16	20	24	28	32	36	35	33
	3 мм	15	19	23	27	31	35	37	30	39
	4 мм	20	21	25	29	33	36	34	34	41
	5 мм	20	22	26	30	34	37	32	36	42
	6 мм	19	23	27	31	35	37	30	39	43
	8 мм	20	24	28	32	36	34	33	40	44
	10 мм	23	26	30	34	36	32	36	42	46

Приложение Т

(обязательное)

Таблица Т.1 - Варианты задачи 10

Номер варианта	L , дБА	Вид материала	G , кг/м ²
1	120	Кирпичная кладка в два кирпича	834
2	115	Газобетонная плита	180
3	122	Кирпичная кладка 1 кирпич	445
4	110	Виброкирпичная панель	199

5	108	Керамзитобетонная плита	578
6	113	Пемзобетонная панель	178
7	104	Шлакоблоки	798
8	109	Шлакобетонная панель	366
9	107	Виброкирпичная панель	134
10	100	Кирпичная кладка 1/2 кирпича	221
11	117	Армированная силикатобетонная панель	168
12	119	Пемзобетонная панель	198
13	111	Шлакобетонная панель	378
14	116	Кирпичная кладка в 2 ½ кирпича	987
15	107	Газобетонная плита	344
16	123	Керамзитобетонная плита	634
17	117	Стеклоблоки	94
18	109	Армированная силикатобетонная панель	167
19	116	Пемзобетонная панель	189
20	126	Шлакоблоки	856

Приложение У

(обязательное)

Таблица У.1 – Варианты задачи 11

Номер варианта	Источник шума		Уровень звукового давления, создаваемый источником шума в помещении, дБ в октавных полосах частот, Гц										V , м ³		
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	a	b	h	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Токарный станок	L_1	94	94	96	91	92	88	89	93	90	22	8	4	

2	Сверлильный станок	L_2	100	106	113	110	114	112	100	106	101	32	10	5
	Шлифовальный станок	L_3	105	108	105	102	100	110	107	104	103			
	Деревообрабатывающий обрезной станок	L_1	89	90	100	106	106	113	112	110	102			
3	Гвоздильный пресс А-715	L_2	91	91	92	96	103	104	106	107	95	25	7	3
	Шлифовальная машина	L_3	76	78	80	89	90	94	94	91	87			
	Дисковая пила для резки металла	L_1	86	89	100	106	106	113	112	110	102			
4	Токарно-карусельный станок	L_2	73	76	77	78	80	105	106	100	95	30	9	6
	Пресс холодной высадки деталей	L_3	80	85	88	92	100	102	98	96	92			
	Дробилка ККД1500/180	L_1	89	93	95	94	94	88	84	75	74			
	Дробилка КСД-2200	L_2	90	97	98	98	100	98	95	84	73			
	Дробилка КМД-2200	L_3	92	93	94	95	94	94	90	83	78			

Продолжение таблицы У.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	Переплетно- брошюровочная машина БТГ	L_1	89	92	95	98	98	100	96	90	89	24	11	3
	Газетный агрегат	L_2	78	86	87	92	96	98	92	86	78			
	Машина плоскочечатная	L_3	75	79	85	89	87	88	85	80	80			
6	Строгальный станок	L_1	90	94	94	97	101	105	109	99	96	42	11	5
	Круглопильный станок	L_2	99	107	111	112	114	110	107	98	95			
	Пневмоотсос опилок	L_3	97	97	105	103	108	110	99	98	90			

7	Автомат токарный	L_1	87	90	93	96	98	94	94	90	85	15	5	2,9
	Отрезной станок	L_2	90	96	99	101	106	100	94	91	85			
	Пресс холодной высадки деталей	L_3	80	85	88	92	100	102	98	96	92			
8	Автомат кузнечно-прессовой	L_1	86	89	100	106	106	113	112	110	102	24	10	5
	Молот	L_2	97	97	105	103	108	110	99	98	90			
	Пресс механический	L_3	99	107	111	112	114	110	105	98	93			
9	Гвоздильный автомат	L_1	96	98	100	107	106	101	97	93	87	33	13	2,8
	Гидравлический пресс	L_2	86	90	96	99	102	100	97	90	87			
	Машина правильная	L_3	89	94	99	102	102	109	100	96	90			
10	Автоматический челночный ткацкий станок	L_1	90	90	92	89	87	84	83	79	73	32	16	4
	Прядильная машина	L_2	87	89	90	95	99	98	98	99	99			
	Гидравлический ткацкий станок	L_3	78	82	85	88	86	81	78	72	70			

Продолжение таблицы У.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11	Транспортер ткани	L_1	86	89	90	93	94	89	85	84	80	30	11	4,5
	Круглоносочный автомат	L_2	78	83	87	89	90	87	82	80	79			
	Нитепритягиватель	L_3	78	82	85	88	86	85	80	76	72			
12	Сепаратор ОМЕ-С	L_1	82	83	81	78	78	76	71	70	70	15	10	5
	Автомат для укладки бутылок в ящики ВУЛ-2	L_2	76	79	81	84	89	89	82	85	80			
	Разливочно-укупорочный автомат РУБ-12 ПМ	L_3	82	84	86	89	89	88	83	81	80			
13	Линия разлива пива 12000	L_1	78	78	84	86	90	92	91	90	88	23	9	4,5

бутылок в час												
14	Сепаратор для осветления пива ВПО	L_2	93	93	91	92	88	88	87	87	82	
	Пропариватель флаг ПФ-М	L_3	68	70	72	67	79	85	85	87	88	
	Ванна пастеризационная ВДП-300	L_1	80	81	87	86	88	89	77	70	65	
	Насос высокого давления К5-ОНВ	L_2	77	76	76	77	82	84	77	76	74	34
	Маслоизготовитель ММ-1000	L_3	90	95	94	94	90	87	86	79	73	16
15	Сепаратор для дрожжевой суспензии А1-ВВС	L_1	100	102	95	90	89	88	83	81	79	5
	Тесто закаточная машина	L_2	97	98	96	93	89	87	86	84	82	35
	Тестоделитель ДПА	L_3	86	89	90	91	91	89	85	81	82	10

Продолжение таблицы У.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	Автомат для фасовки и упаковки рыбных продуктов А1-ИУЛ/1	L_1	77	79	84	89	88	86	83	81	81			
	Машина для очистки и разделки рыбы	L_2	97	98	96	93	89	87	86	84	82	42	11	4
	Автомат взвешивания и этикетирования рыбных продуктов А1-ИУЛ/3	L_3	99	103	103	100	96	90	89	88	89			
17	Куттер	L_1	99	103	107	108	110	105	100	93	89	15	5	2,9
	Фаршемешалка	L_2	89	99	100	105	100	96	90	85	83			

18	Шкаф СВЧ	L_3	70	76	78	80	82	76	70	67	60			
	Станок шлифовально-рифельный	L_1	89	97	102	106	110	98	96	90	91			
	Шелушильная машина	L_2	87	89	97	104	107	108	101	97	93	55	12	6
19	Гранулятор Е8-ДГБ	L_3	90	90	92	89	87	84	80	76	73			
	Маслоизготовитель ММ-1000	L_1	90	94	95	94	90	88	76	72	61			
	Установка для восстановления сухого молока И1-ОВМ	L_2	84	86	91	92	89	90	88	86	83			
20	Автомат для фасовки и упаковки сливочного масла АРМ	L_3	70	73	78	78	79	80	74	69	63	10	6	3,8
	Фруктопитатель Е4-ОФР	L_1	60	61	71	74	84	78	69	61	62			
	Варочный котел	L_2	63	64	68	75	76	74	70	65	60	42	6	4
	Протирочная машина	L_3	90	95	94	94	90	85	76	72	61			

Приложение Ф (обязательное)

Таблица Ф.1 - Задача 11 (расчет звукоизолирующего ограждения)

Параметр	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц									
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Уровень звукового давления, создаваемый источником шума в помещении, дБ	Таблица У.1 (приложение У)										
L_1											
L_2											
L_3											

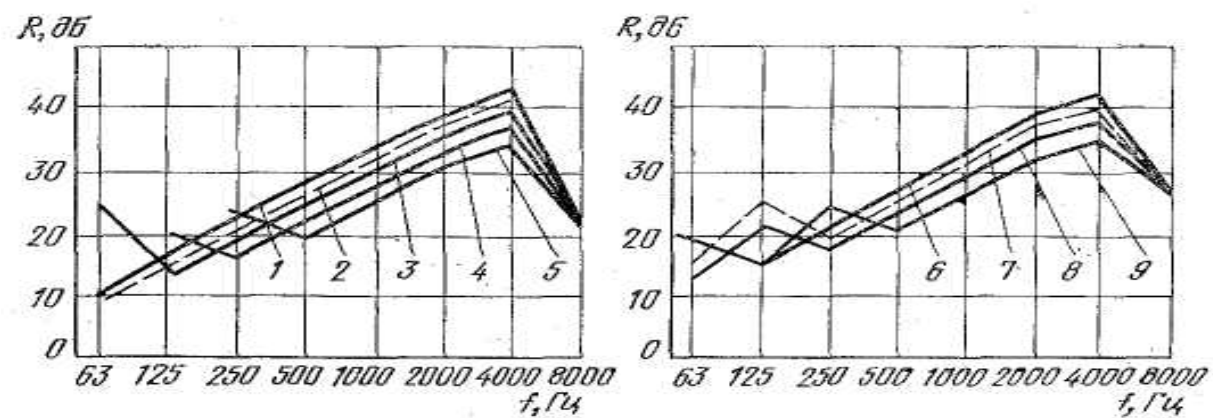
Уровни звукового давления в помещении $L_{сум}$, дБ	Формула 2.3
Нормативный уровень звукового давления L_n , дБ	СН 2.2.4/2.1.8.562-96
Постоянная шумного помещения $B_{ш}$, м ²	Рисунок Ж.1 приложения Ж
Требуемый уровень снижения шума $L_{тр}$, дБ	Формула 2.1
Общая площадь односторонних i -х ограждающих конструкций изолируемого помещения S_i , м ²	
Постоянная изолируемого помещения $B_{и}$, м ² ;	Рисунок Ж.1 приложения Ж

Продолжение таблицы Ф.1

	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Требуемая звукоизолирующая способность ограждения $R_{тр.огр.}$, дБ		Формула 3.23									
Реальная звукоизолирующая способность ограждения $R_{огр.}$, дБ, вид материала и толщина		Таблица С.1 приложения С									
Уровень шума в изолированном помещении $L_{из}$, дБ		Формула 3.24									

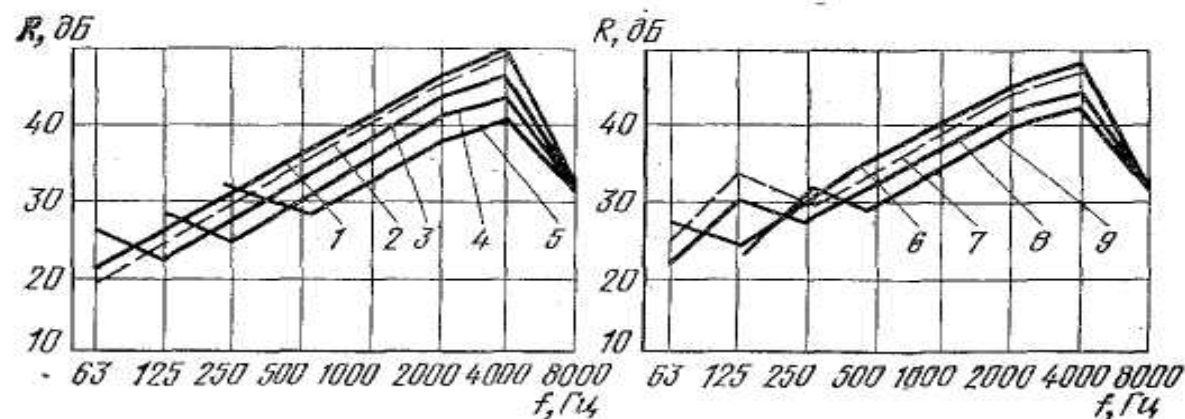
Приложение X (справочное)

Звукоизоляция пластины



1 – 4X4 м; 2 – 3X3 м; 3 – 2X2 м; 4 – 1X1 м; 5 – 0,5X0,5 м; 6 – 4X2 м; 7 – 3X1,5 м; 8 – 2X1 м; 9 – 1X0,5 м

Рисунок X.1 – Звукоизоляция пластины из стали толщиной от ,5 мм до 2,0 мм разных размеров



1 – 4X4 м; 2 – 3X3 м; 3 – 2X2 м; 4 – 1X1 м; 5 – 0,5X0,5 м; 6 – 4X2 м; 7 – 3X1,5 м; 8 – 2X1 м; 9 – 1X0,5 м

Рисунок X.2 – Звукоизоляция пластины из органического стекла толщиной от ,3 мм до 4 мм разных размеров

Приложение Ц

(обязательное)

Таблица Ц.1 - Варианты задачи 12

6 Номер варианта	90 Уровень звукового давления, дБ	95 Уровень звукового давления, дБ	94 Уровень звукового давления, дБ	94 Уровень звукового давления, дБ	91 Уровень звукового давления, дБ	91 Уровень звукового давления, дБ	89 Уровень звукового давления, дБ	85 Уровень звукового давления, дБ	85 Уровень звукового давления, дБ	2,8 Габаритные размеры оборудования, м	1,6 Габаритные размеры оборудования, м	2 Габаритные размеры оборудования, м
7	101	105	106	108	99	97	96	93	90	2,2	1,1	0,9
8	99	101	108	110	108	105	100	96	90	3,2	1,8	1,3
9	90	93	95	100	100	100	200	400	800	1	0,5	0,5
10	89	90	94	99	160	106	104	100	90	1,4	1,2	1,3
11	102	104	105	100	88	102	104	104	80	1,35	1,5	1,5
12	90	95	94	94	90	85	80	83	65	2,1	1,2	1
13	100	102	96	99	88	85	86	85	84	2,4	1,1	1
14	102	104	105	100	104	107	108	105	100	3	1,5	1,5
15	88	89	89	94	96	89	85	80	80	2	1,2	0,9

16	78	85	89	90	95	95	98	100	98	3	1,6	1
17	87	88	90	93	100	105	106	98	90	2	2	2,5
18	95	94	92	94	101	101	99	98	91	1,6	2	2
19	93	94	93	92	96	97	99	97	95	2	3	0,9
20	90	101	95	95	99	105	105	103	99	1,8	2	1

Приложение III (обязательное)

Таблица III.1 – Задача 12 (расчет звукоизолирующего кожуха)

Параметр	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц									
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Уровень звукового давления, создаваемый источником шума на рабочем месте $L_{p.m.}$, дБ	Таблица Ц.1 (приложение Ц)										
Нормативный уровень звукового давления L_n , дБ	СН 2.2.4/2.1.8.562-96										
Требуемая звукоизоляция кожуха $R_{кож.тр.}$, дБ	Формула 3.25										
$10 \lg \frac{S_{кож}}{S_{ист}}$, дБ											
Требуемая звукоизоляция для каждой грани $R_{г.тр.}$, дБ	Формула 3.26										
Вид материала и толщина	Рисунки X.1, X.2 приложения X										

Приложение Щ (обязательное)

Таблица Щ.1 - Варианты задачи 13

Номер вари- анта	Источник шума L , дБ	Уровень звукового давления, создаваемый источником шума в помещении, дБ в октавных полосах частот, Гц									Расстояние от экрана, м		Высота экрана, м
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	до источ- ника	до рас- четной точки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Фрезерный станок	90	96	82	87	87	89	94	93	91	15,00	5,00	2,50
2	Трамбовка ТР-1	86	88	91	93	96	90	93	86	77	8,00	9,00	2,75
3	Магнитный кран	89	87	95	100	91	78	76	74	73	20,00	8,00	3,00
4	Обдирочно-шлифовальный станок 3374К	94	95	92	94	97	99	96	86	74	12,00	10,00	3,00
5	Автомат холодновысадочный А-1916	88	89	90	95	97	89	83	79	77	8,90	6,00	2,75
6	Ленточная пила	89	93	100	101	97	99	99	99	106	6,00	4,00	3,15
7	Станок кромкофуговальный	87	92	95	98	101	105	100	87	80	12,00	5,70	3,90
8	Компрессор К-500	86	90	99	106	109	109	110	103	97	4,00	7,00	3,40
9	Молотилка МО-9П	95	94	98	103	103	93	90	84	84	15,00	7,00	2,90
10	Гранулятор Е8-ДГБ	90	90	92	89	87	84	80	76	73	4,00	3,00	2,60
11	Маслоизготовитель ММ-1000	90	94	95	94	90	88	76	72	61	5,00	9,00	2,75
12	Газетный агрегат	78	86	87	92	96	98	92	86	78	6,00	4,00	3,00
13	Машина плоскопечатная	75	79	85	89	87	88	85	80	80	4,00	3,80	2,50

14	Строгальный станок	90	94	94	97	101	105	109	99	96	6,00	3,60	2,90
15	Разливочный автомат Т1-ВРЦ	81	84	86	91	94	97	94	89	84	3,00	4,50	2,75
Продолжение таблицы Щ.1													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
16	Сепаратор для осветления пива ВПО	90	93	91	92	88	88	87	87	82	4,00	3,70	2,75
17	Машина укупорочная Т1-ВРЦ-12	86	88	95	93	96	99	94	93	86	6,00	3,50	3,00
18	Просеиватель «Пионер»	88	89	89	90	95	98	87	88	85	3,00	2,60	2,30
19	Тестомесильная машина «Стандарт»	94	86	85	94	87	85	77	75	72	3,60	3,00	2,60
20	Тестоокруклитель А2-ХТН	83	86	88	94	89	80	79	73	68	2,50	1,90	2,40

Приложение Э (обязательное)

Таблица Э.1 – Задача 13 (расчет акустического экрана)

Параметр	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц									
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Уровень звукового давления, создаваемый источником шума L , дБ	Таблица Ц.1 (приложение Ц)										
Длина волны λ , м	$\lambda = \frac{c}{f}$										
Критерий затухания М	Формула 3.27										
ΔL , дБ	График (рисунок 3.4 б)										
Нормативный уровень звукового давления L_n , дБ	СН 2.2.4/2.1.8.562-96										
Превышение нормы, дБ											

Приложение Ю

(обязательное)

Таблица Ю.1 - Варианты задачи 14

Номер вари- анта	Уровень звукового давления, создаваемый источником шума в помещении L_i , дБ в октавных полосах частот, Гц									Расстояние от экрана, м		Высота экрана, м
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	до источника	до расчетной точки	
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	89	93	100	101	97	99	99	99	106	6,00	4,00	3,15
2	87	92	95	98	101	105	100	87	80	12,00	5,70	3,90
3	86	90	99	106	109	109	110	103	97	4,00	7,00	3,40
4	90	96	82	87	87	89	94	93	91	15,00	5,00	2,50
5	86	88	91	93	96	90	93	86	77	8,00	9,00	2,75
6	89	87	95	100	91	78	76	74	73	20,00	8,00	3,00
7	94	95	92	94	97	99	96	86	74	12,00	10,00	3,00
8	86	88	95	93	96	99	94	93	86	6,00	3,50	3,00
9	88	89	89	90	95	98	87	88	85	3,00	2,60	2,30
10	94	86	85	94	87	85	77	75	72	3,60	3,00	2,60
11	83	86	88	94	89	80	79	73	68	2,50	1,90	2,40
12	88	89	90	95	97	89	83	79	77	8,90	6,00	2,75
13	95	94	98	103	103	93	90	84	84	15,00	7,00	2,90
14	90	90	92	89	87	84	80	76	73	4,00	3,00	2,60
15	90	94	95	94	90	88	76	72	61	5,00	9,00	2,75
16	90	94	94	97	101	105	109	99	96	6,00	3,60	2,90
17	81	84	86	91	94	97	94	89	84	3,00	4,50	2,75
18	90	93	91	92	88	88	87	87	82	4,00	3,70	2,75
19	78	86	87	92	96	98	92	86	78	6,00	4,00	3,00
20	75	79	85	89	87	88	85	80	80	4,00	3,80	2,50

Приложение Я

(обязательное)

Таблица Я.1 – Задача 14 (расчет снижения шума в помещении за счет акустического экрана)

Параметр	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц									
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Уровень звукового давления, создаваемый источником шума L , дБ	Таблица Ю.1 (приложение Ю)										
Нормативный уровень звукового давления L_n , дБ	СН 2.2.4/2.1.8.562-96										
Требуемый уровень снижения шума $L_{тр}$, дБ	Формула 2.1										
Длина звуковой волны λ , м	$\lambda = \frac{c}{f}$										
W	Формула 3.30										
Снижение уровня звука экраном ΔL , дБ	Формула 3.29										