

УДК 658.345 (075.8)
ББК 65.247
Ш69

Р е ц е н з е н т – канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» **А. Д. Железняков** (УО «БелГУТ»)

Шатило, С. Н.

Ш69 Исследование производственного шума : учеб.-метод. пособие / С. Н. Шатило, С. В. Дорошко, В. В. Карпенко ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – 2-е изд., перераб. и доп. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 62 с.
ISBN 978-985-468-922-7

Приведены краткие сведения из теории, описание шумоизмерительных приборов и порядок выполнения акустических замеров, методика санитарно-гигиенической оценки производственного шума, инженерные решения по снижению уровней шума.

Предназначено для самостоятельного изучения и выполнения лабораторной работы по курсу «Охрана труда» студентами всех специальностей всех форм обучения.

УДК 658.345 (075.8)
ББК 65.247

ISBN 978-985-468-922-7

© Шатило С. Н., Андреев В.К.,
Рудницкий А.М., Тризно Л.К.,
1985
© Шатило С. Н., Дорошко С. В.,
Карпенко В. В., 2011 с
дополнениями и изменениями

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Общие сведения

В последние десятилетия в связи с бурным развитием техники, сопровождающимся постоянным увеличением мощности и производительности машин, скорости их рабочих органов, шум на рабочих местах постоянно возрастает и во многих случаях значительно превышает допустимые нормы.

В производственных условиях источниками шума являются работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты, электрические машины, компрессоры, кузнечно-прессовое, подъемно-транспортное, вспомогательное оборудование (вентиляционные установки, кондиционеры) и т.д.

Интенсивное шумовое воздействие на организм человека неблагоприятно влияет на протекание нервных процессов, способствует развитию утомления, изменениям в сердечно-сосудистой системе и появлению шумовой патологии, среди многообразных проявлений которой ведущим клиническим признаком является медленно прогрессирующее снижение слуха по типу кохлеарного неврита.

Избыточный шум снижает производительность и качество труда работающих, является косвенной причиной производственного травматизма, поэтому борьба с шумом имеет важное социально-экономическое значение.

Цель пособия: ознакомить студентов с характеристиками и основными параметрами, с шумоизмерительной аппаратурой, порядком выполнения замеров параметров шума и методикой санитарно-гигиенической оценки производственного шума, основами разработки мероприятий по снижению шума.

В учебно-методическом пособии применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Акустическая обработка помещения – облицовка всех или части внутренних поверхностей помещения звукопоглощающим материалом или специальными звукопоглощающими конструкциями, размещение в

помещении штучных звукопоглотителей.

Акустическая характеристика звукопоглощающей конструкции или штучного звукопоглотителя – соответственно частотная характеристика реверберационного коэффициента звукопоглощения или частотная характеристика эквивалентной площади звукопоглощения, приходящейся на один звукопоглотитель.

Воздушный шум – шум, распространяющийся в воздухе.

Время стандартной реверберации T – время, с, в течение которого уровень звукового давления уменьшается на 60 дБ после прекращения действия источника звука.

Герц – единица измерения частоты колебаний (одно колебание в секунду – 1 Гц).

Допустимый октавный уровень звукового давления (эквивалентный октавный уровень звукового давления) $L_{доп}$ – уровень звукового давления, дБ, в каждой из восьми октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, установленный в действующих нормативных документах.

Допустимый уровень звука $L_{доп}$ – допустимый уровень звука, дБА, установленный в действующих нормативных документах.

Звук – физическое явление, представляющее собой волновое колебание упругой среды. Звуковые волны возникают в том случае, когда в упругой среде имеется колеблющееся тело или когда частицы упругой среды (газообразной, жидкой или твердой) приходят в колебательное движение в продольном или поперечном направлении в результате воздействия на них какой-либо возмущающей силы. Звук – физиологическое явление, определяющее ощущение, воспринимаемым органом слуха при воздействии на него звуковых волн в диапазоне частот 16–20 000 Гц.

Звуковая мощность источника P – полная звуковая энергия в заданной полосе частот, излучаемая источником звука в окружающую среду в определенном интервале времени, деленная на этот интервал. Единица измерения звуковой мощности – ватт (Вт).

Звуковое давление p – среднее квадратическое значение избыточного давления в данной точке среды в звуковом поле по сравнению со статическим давлением при отсутствии звукового поля. Единица измерения звукового давления – Н/м²; 1 Н/м² = 1 Па.

Звуковое поле – область в упругой среде, в которой имеются звуковые волны.

Звукоизоляция – способность конструкции или элемента этой конструкции ослабить проходящий звук.

Изоляция воздушного шума – величина, дБ, характеризующая снижение уровня воздушного шума.

Коэффициент звукопоглощения – отношение неотраженной звуковой

энергии к падающей на конструкцию энергии.

Октавная полоса частот – полоса частот, в которой верхняя граничная частота в 1,25 раза больше нижней.

Реверберационный коэффициент звукопоглощения α – коэффициент звукопоглощения, измеренный в диффузном звуковом поле, т. е. при хаотическом падении звука на поверхность материала.

Реверберация – звуковой процесс, продолжающийся в замкнутом пространстве в результате повторных отражений или рассеяния после выключения источника звука.

Спектр шума – распределение уровней звукового давления по третьоктавным (октавным) полосам частот.

Среднегеометрическая частота октавной или третьоктавной полосы f , Гц;

$$f = \sqrt{f_1 f_2},$$

где f_1, f_2 – соответственно нижняя и верхняя граничные частоты.

Ударный шум – шум, возникающий в помещении под перекрытием при воздействии звуковых волн на перекрытие.

Уровень звука L_A (дБА) – общий уровень звукового давления, измеренный шумомером с скорректированной частотной характеристикой по шкале А шумомера.

Частота колебаний – число колебаний в 1 с.

Шум – неприятный звук или совокупность звуков, мешающих восприятию полезных сигналов и нарушающих тишину, оказывающих вредное или раздражающее воздействие на организм человека, снижающих его работоспособность.

Эквивалентная площадь звукопоглощения (объекта, поверхности или помещения) A – площадь поверхности, м², с коэффициентом звукопоглощения, равным 1, которая могла бы поглотить такое же количество звуковой энергии, как и данный объект, поверхность или все помещение и находящиеся в нем предметы.

1.2 Требования безопасности при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда при работе с шумоизмерительной аппаратурой и ознакомленные с данным методическим пособием.

Выполнение работы одним студентом в лаборатории не допускается.

Включение приборов и экспериментальной установки производится после проверки преподавателем правильности сборки и подключения их к сети. Переключатель должен находиться в положении, соответствующем напряжению сети переменного тока (220 или 127 В).

Не допускается производить переключение в приборах, не

предусмотренное порядком выполнения работы.

1.3 Характеристика и основные параметры шума

Шум представляет собой сочетание звуков различной интенсивности и частоты. Под шумом обычно понимают звуки, мешающие восприятию полезных звуков или нарушающие тишину, а также звуки, оказывающие вредное или раздражающее действие на организм человека. Он представляет собой упругие колебания в частотном диапазоне слышимости, распространяющиеся в виде волны.

Повышенный уровень шума на рабочем месте отнесен к группе физических опасных и вредных производственных факторов. Он неблагоприятно действует на организм человека, вызывает головную боль, под его влиянием развивается раздражительность, снижается внимание, замедляются сенсомоторные реакции, повышаются, а при чрезвычайно интенсивном действии понижаются, возбуждательные процессы в коре головного мозга. Работа в условиях шума может привести к появлению гипертонической или гипотонической болезни, развитию профессиональных заболеваний – тугоухости и глухоты. Поэтому уменьшение воздействия шума на человека является одной из важнейших задач охраны труда.

Процесс распространения колебаний в воздушной среде называется звуковой волной. Звуковые волны могут возникать в твердой, жидкой и газообразной среде под воздействием механических колебаний какого-либо тела. Эти колебания приводят к появлению чередующихся сжатий и разрежений среды, которые распространяются в пространстве и воспринимаются как звук. Сжатия и разрежения распространяются от источника колебаний с определенной скоростью. Точки с равной степенью сжатия или разрежения находятся в направлении распространения на одинаковых расстояниях от источника. Расстояние между точками, имеющими одинаковую фазу колебаний, равно длине волны.

Область пространства, в котором распространяются звуковые волны, представляет собой звуковое поле. В каждой точке звукового поля давление и скорость движения частиц воздуха изменяются во времени.

Период колебаний представляет собой время одного полного колебания. Частота колебаний определяется числом колебаний в единицу времени и измеряется в герцах (Гц). 1 Гц – это одно колебание в одну секунду. Скорость распространения звуковых волн в различных средах неодинакова. Зависит она и от температуры среды. Так, скорость распространения звука в воздухе при температуре 20 °С равна 343 м/с, при температуре 250 °С – 460 м/с.

Фазой колебаний называют состояние движения колеблющегося тела относительно какого-либо его положения, например, относительно

положения равновесия, которое можно принять за начало отсчета фазы. Любое другое положение тела при его колебаниях будет иметь определенную стадию движения или фазу относительно выбранного начала отсчета.

Длина волны λ , м, скорость распространения c , м/с, и частота f , Гц, колебаний связаны соотношением

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT, \quad (1)$$

где $T = 1/f$ – период колебаний.

Звуковые волны могут быть продольными или поперечными. В продольных волнах направление колебаний частиц среды совпадает с направлением распространения волны. В поперечных волнах колебания частиц происходят в направлении, перпендикулярном распространению волны.

По характеру различают плоские, сферические, цилиндрические и другие звуковые волны. Плоские волны, т. е. волны, в которых поверхность, проходящая через точки с одинаковой фазой колебаний, являются плоскостью, перпендикулярной направлению распространения колебаний, возникают в тех случаях, когда размеры колеблющейся поверхности больше длины излучаемой ею волны. Сферические волны, распространяющиеся равномерно во все стороны, образуются точечными источниками колебаний или пульсирующей средой, у которой геометрические размеры значительно меньше длины излучаемой волны. В цилиндрических волнах фронт волны представляет собой цилиндр.

Звуки, распространяющиеся в воздухе, называют воздушными, а в твердых телах – структурными.

К звуковым волнам, воспринимаемым слухом человека, относятся только те, которые находятся в пределах примерно от 20 до 20000 Гц. Эти границы неодинаковы у различных людей и зависят от возраста и состояния слухового аппарата. Область слышимых звуков ограничивается не только по частоте, но и по интенсивности звука. Минимальная интенсивность, еле отмечаемая слухом в полной тишине, называется порогом слышимости. Интенсивность звука, при которой начинается неприятное ощущение, носит название порога болевого ощущения. Отношения звуковых давлений в диапазоне от порога слышимости до болевого порога изменяются более чем в миллион раз. Порог слышимости зависит от частоты, причем область наибольшей чувствительности слуха приходится на зону частот 800–4000 Гц. Значительно меньшей чувствительностью слух обладает на более низких и высоких частотах. Любой шум характеризуется: с физической стороны – звуковым давлением, частотой колебаний и уровнем интенсивности (или силы) звука; с физиологической стороны – громкостью звука, уровнем громкости и

частотным интервалом.

Разность между мгновенным значением давления в данной точке среды при прохождении через эту точку звуковых волн и средним давлением, которое наблюдается в этой же точке при отсутствии звука, называется звуковым давлением p . За единицу измерения звукового давления принимают паскаль – Па ($\text{Н}/\text{м}^2$).

Интенсивностью, или силой звука, называется количество звуковой энергии, проходящее в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной направлению распространения звуковой волны. Единицей измерения интенсивности звука является ватт на метр квадратный ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Кроме системных, установлены три внесистемные единицы: для измерения уровня звукового давления – децибел (дБ), уровня громкости – фон и частотного интервала – октава.

Слух человека способен воспринимать звуки интенсивностью в пределах от 10^{-12} до 10^2 $\text{Вт}/\text{м}^2$, что соответствует звуковому давлению от $2 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^2$ $\text{Н}/\text{м}^2$. Чем больше амплитуда колебаний звучащего тела, тем выше звуковое давление и тем громче воспринимаемый звук. При этом слух различает не разность, а кратность изменения абсолютных величин в логарифмической зависимости звукового ощущения от звукового давления. В связи с этим для удобства вычислений и уменьшения численных значений в акустике принято оценивать силу звука и звуковое давление чаще всего не в абсолютных, а в относительных логарифмических единицах – белах или децибелах ($1 \text{ дБ} = 1/10 \text{ Б}$). Измеряемые таким образом величины называют уровнями, т. е. отношением создаваемого давления к давлению, принятому за нулевой уровень.

Уровень интенсивности звука равен отношению

$$L_i = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \quad (2)$$

где I_0 – интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости, $I_0 = 10^{-12}$ $\text{Вт}/\text{м}^2$ на частоте 1000 Гц.

Слух человека чувствителен не к интенсивности, а к среднему квадрату звукового давления. Интенсивность звука I и звуковое давление p связаны соотношением

$$I = \frac{p_{\text{ср}}^2}{\rho c}, \quad (3)$$

где $p_{\text{ср}}$ – среднеквадратичное значение звукового давления в данной точке звукового поля;

ρ – плотность воздушной среды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c – скорость звука в данной точке среды, $\text{м}/\text{с}$.

Подставляя значения I в формулу (2), получим величину уровня звукового давления:

$$L = 10 \lg \frac{P_{\text{ср}}^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P_{\text{ср}}}{P_0}, \quad (4)$$

где $P_{\text{ср}}$ – среднеквадратичное звукового давления, Па;

P_0 – пороговая величина звукового давления, являющаяся порогом слышимости при частоте 1000 Гц, $P_0 = 10^{-5}$ Н/м².

Пороговые величины I_0 и P_0 подобраны так, что при нормальных атмосферных условиях уровень звукового давления численно равен уровню интенсивности:

$$L = L_i.$$

Важнейшей характеристикой шума является спектр, который представляет собой зависимость амплитуд, составляющих общее звуковое давление, от частоты. Производственные шумы, как правило, содержат все частоты звукового диапазона с различным их распределением.

Звуки разных частот воспринимаются органами слуха неодинаково. Увеличение частоты звука субъективно воспринимается как возрастание высоты его тона. Это возрастание пропорционально не абсолютному, а относительному изменению частоты звука. Например, увеличение частоты звука в 2 раза воспринимается как увеличение высоты тона на одну и ту же величину, называемую октавой. В связи с этим, если ширина полосы частот равна октаве, то спектр называют октавным, 1/2 октавы – полуоктавным, 1/3 октавы – третьоктавным и т. д. Полосой называют интервал, заключенный между частотами f_1 и f_2 . Частота f_1 является нижней граничной частотой полосы спектра, f_2 – верхней (приложение А). В качестве определяющей частоты октавной полосы принимается среднегеометрическая частота

$$f_{\text{ср}} = \sqrt{f_1 f_2},$$

где f_1 и f_2 – соответственно нижняя и верхняя граничные частоты полосы.

Обычно в вопросах охраны труда уровни звукового давления на рабочих местах определяют на октавных полосах со среднегеометрическими частотами $f_{\text{ср}}$, равными 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

В приложении А приведена характеристика октавных и третьоктавных частотных полос.

В зависимости от характера шума спектр может быть линейчатым, непрерывным (сплошным) или комбинированным (линейчато-непрерывным). В линейчатых спектрах составляющие отделены друг от друга значительными частотными интервалами. Составляющие сплошного спектра расположены плотно друг к другу.

Спектры шумов импульсного и ударного характера, возникающих в механических, тележечных и сборочных цехах, относятся к сплошным. Спектры механических шумов относятся к смешанным, а шумов с выраженным тональным звуком, создаваемых электромеханизмами (в генераторных и аккумуляторных отделениях), – чаще всего к линейчатым.

Субъективное качество слухового ощущения, называемое громкостью, зависит не только от силы звука, но и от частоты.

По частотному спектру шум подразделяют на низкочастотный (до 300 Гц), среднечастотный (от 300 до 800 Гц) и высокочастотный (свыше 800 Гц). Звук с частотами ниже 20 Гц называют инфразвуком, а с частотами выше 20 кГц – ультразвуком.

В соответствии с СанПиН 2.2.4/2.1.8.10–32–2002 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» по характеру спектра шум классифицируют как широкополосный с непрерывным спектром шириной более одной октавы и тональный, в спектре которого имеются выраженные дискретные тона. Тональный характер шума для практических целей (при контроле его параметров на рабочих местах) устанавливают измерением в третьоктавных полосах частот по превышению уровня звукового давления в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

По временным характеристикам шум подразделяют:

- на постоянный, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) изменяется во времени не более чем на 5 дБА;

- непостоянный, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день (рабочую смену) изменяется во времени более чем на 5 дБА.

Непостоянный шум в свою очередь подразделяют:

- на колеблющийся во времени – такой шум, уровень которого непрерывно изменяется во времени;

- прерывистый, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5 дБА и более), причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным, составляет 1 с и более;

- импульсный, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука, измеренные в дБА, отличаются не менее чем на 7 дБ.

Характеристикой непостоянного шума на рабочих местах является интегральный критерий – эквивалентный (по энергии) уровень звука.

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

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L_A} dt, \quad (5)$$

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

Порядок измерения уровней звука и расчета эквивалентного уровня

регламентирован ГОСТ 20445 и приведен в разд. 3.

1.4 Инфразвук и ультразвук

Инфразвук – это колебания, распространяющиеся в воздухе, жидкой и твердой средах с частотой ниже 16 Гц. Такие колебания человек не слышит, однако чувствует. В условиях производства инфразвук, как правило, сочетается с низкочастотным шумом, в ряде случаев и с низкочастотной вибрацией. Более того, инфразвук оказывает разрушающее воздействие на организм человека. Высокий уровень инфразвука может вызвать нарушения функции вестибулярного аппарата, приводя к головокружениям, головным болям, а также снижает внимание, работоспособность и приводит к появлению чувства страха и общему недомоганию. Предполагают, что инфразвук оказывает сильное влияние на психику людей.

В машиностроении инфразвук возникает при работе вентиляторов, компрессоров, двигателей внутреннего сгорания, дизелей. Любые механизмы, работающие при частотах вращения вала менее 20 об/с, излучают инфразвук. Мчащийся со скоростью более 100 км/ч автомобиль является источником инфразвука, образующегося за счет срыва встречного потока воздуха позади автомобиля.

Выявление инфразвука на производстве можно проводить по следующим признакам:

- *техническим* – высокая единичная мощность машины при сравнительно низком числе оборотов, ходов или ударов, флуктуация мощных потоков газов или жидкостей, передвижение по местности, агрофону или дорогам и т. д.;
- *конструктивным* – большие габаритные размеры двигателей или рабочих органов, наличие замкнутых объемов, возбуждаемых динамически, и т. д.;
- *строительным* – большие площади перекрытий или ограждений источников шума, наличие замкнутых, звукоизолированных кабин и т. д.

По характеру спектра инфразвук подразделяется:

- на *широкополосный*, с непрерывным спектром шириной более октавы;
- *гармонический*, в спектре которого имеются выраженные дискретные составляющие. Гармонический характер инфразвука устанавливают в октавных полосах частот по превышению уровня в одной полосе над соседними не менее 10 дБ.

По временным характеристикам различают инфразвук:

- *постоянный*, уровень звукового давления которого по шкале «линейная» на характеристике «медленно» изменяется не более чем на 10 дБ за время наблюдения 1 мин.;
- *непостоянный*, уровень звукового давления которого по шкале «линейная» на характеристике «медленно» изменяется не менее чем на 10 дБ за время наблюдения не менее 1 мин.

Для постоянного инфразвука нормируемой характеристикой является уровень звукового давления в октавных полосах частот, в децибелах, со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8, 16 Гц, для непостоянного – общий уровень звукового давления, в децибелах, измеренный по шкале «линейная».

Допускается определение уровней звукового давления в 1/3-октавных полосах частот 1,6; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20 Гц.

Измерение инфразвука проводится для контроля соответствия фактических уровней шума на рабочих местах допустимым действующим нормам.

Для характеристики инфразвука устанавливаются следующие измеряемые величины:

– для постоянного инфразвука – октавные уровни звукового давления, дБ;

– для непостоянного инфразвука – общий уровень звукового давления по шкале «линейная» шумомера, дБ.

Для установления степени выраженности инфразвука относительно шума следует использовать разность уровней по шкалам «линейная» и «А» шумомера:

$(L_{\text{лин}} - L_A) \leq 10$ дБ – инфразвук практически отсутствует;

$10 < (L_{\text{лин}} - L_A) \leq 20$ дБ – инфразвук не выражен;

$(L_{\text{лин}} - L_A) > 20$ дБ – выраженный инфразвук.

Большая длина волны позволяет инфразвуку распространяться в атмосфере на значительные расстояния, достигающие десятков тысяч километров. По этой же причине невозможно остановить инфразвук с помощью строительных сооружений на пути его распространения, а также с помощью средств индивидуальной защиты. Меры борьбы с инфразвуком необходимо применять непосредственно к источнику его возникновения. К таким мерам можно отнести увеличение частот вращения валов до 20 и более оборотов в секунду, повышение жесткости колеблющихся конструкций больших размеров, устранение низкочастотных вибраций; конструктивные изменения источников, позволяющие из области инфразвуковых колебаний перейти в область звуковых колебаний, для снижения которых возможно применение методов звукоизоляции и звукопоглощения.

Под **ультразвуком** понимаются колебания, распространяющиеся в воздухе, жидкой и твердой средах с частотой свыше 16 кГц.

Ультразвук широко применяется в машиностроении. В литейных цехах источниками ультразвука являются генераторы, работающие в диапазоне частот 12–22 кГц, которые используются для обработки жидких расплавов, очистки отливок, а также в установках и системах очистки газов. В гальванических цехах ультразвуковые колебания возникают при работе ультразвуковых ванн очистки и обезжиривания, причем направленность их воздействия сохраняется на расстоянии 25–50 см от оборудования. При загрузке и выгрузке деталей происходит непосредственное контактное

воздействие ультразвука.

При плазменной и диффузионной сварке, резке металлов, напылении источниками ультразвуковых колебаний являются ультразвуковые генераторы.

В сборочных цехах ультразвуковые поля высокой интенсивности возникают при удалении загрязнений с помощью ультразвука, химическом отравлении, обдувке струей сжатого воздуха при очистке деталей, а также при сборке неподвижных неразъемных соединений под действием осевой силы и при сборке методом склеивания. При промывке и обезжиривании деталей используется ультразвук в диапазоне от 16 до 44 кГц интенсивностью до $(6 \pm 7) \cdot 10^4$ Вт/м², а при контроле сборочных соединений – в диапазоне частот более 80 кГц.

Ультразвук – область акустических колебаний в диапазоне от $1,12 \cdot 10^{14}$ до $1 \cdot 10^9$ Гц.

Ультразвуковой диапазон частот подразделяют:

- на *низкочастотные колебания* (от $1,12 \cdot 10^4$ до $1,0 \cdot 10^5$ Гц), распространяющиеся воздушным и контактным путем;
- *высокочастотные колебания* (от $1,0 \cdot 10^5$ до $1,0 \cdot 10^9$ Гц), распространяющиеся только контактным путем.

Характеристикой ультразвука являются уровни звукового давления, в децибелах, 1/3-октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 12,5 до 100,0 кГц. Характеристикой ультразвука, передаваемого контактным путем, является пиковое значение виброскорости, в м/с, или его логарифмический уровень, в дБ, в диапазоне частот от $1 \cdot 10^5$ до $1 \cdot 10^9$ Гц.

Ультразвук оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека. Его действие может приводить к функциональным нарушениям нервной системы, головным болям, изменениям давления, состава и свойств крови, потере слуховой чувствительности, повышенной утомляемости. Он может действовать на человека через воздушную среду и контактно через жидкую и твердую среду.

Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах при действии ультразвука зависят от среднегеометрических частот 1/3-октавных полос.

Для защиты от ультразвука, передающегося через воздушную среду, широко применяют методы звукоизоляции, имеющие высокую эффективность в области высоких частот. Между оборудованием и работающими устанавливают экраны, ультразвуковые установки помещают в специальные помещения, используют кабины с дистанционным управлением, заключают оборудование в звукоизолирующие кожухи. Конструкции кабин, выгородок, экранов, кожухов аналогичны конструкциям, применяемым для защиты от шума. Используемые материалы для кожухов – сталь, дюралюминий, оргстекло, текстолит, облицованные звукопоглощающими материалами типа резины.

Звукоизолирующие кожухи на ультразвуковом оборудовании должны иметь блокировочную систему, отключающую преобразователи при нарушении герметичности кожуха.

При конструировании ультразвукового оборудования рекомендуется использовать более высокие рабочие частоты, поскольку для них допустимые уровни звукового давления выше.

При контактном действии ультразвука защита обеспечивается средствами виброизоляции – применением виброизолирующих покрытий, резиновых перчаток, резиновых ковриков и т. д.

1.5 Определение суммарного уровня звукового давления, создаваемого несколькими источниками

Часто при разработке мероприятий по борьбе с шумом в производственных условиях необходимо определять уровни звукового давления на рабочих местах при одновременной работе нескольких технологических установок или машин. В том случае, когда в расчетную точку попадает шум от нескольких источников, необходимо складывать их интенсивности. При этом считается, что источники шума некогерентны, т.е. создаваемые ими звуковые давления имеют произвольные фазы.

Если в данную точку пространства приходят некогерентные звуковые волны с уровнями звукового давления L_i , дБ, то уровень звукового давления суммарного звука составит

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}, \quad (6)$$

где n – общее число независимых слагаемых уровней.

Эта формула соответствует условию, что интенсивности всех некогерентных источников складываются:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$$

Поэтому, если имеется m одинаковых источников, каждый из которых создает в данной точке уровень звукового давления L_1 суммарный уровень будет

$$L = L_1 + 10 \lg m. \quad (7)$$

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

Удвоение числа источников каждый раз увеличивает уровень на 3 дБ.

При нескольких различных источниках шума суммирование производится последовательно, начиная с наиболее интенсивного источника: $L_1 > L_2 > \dots > L_n$. Делается так потому, что если уровень шума одного источника превышает уровни других на 10–12 дБ, то превалирует шум большего источника, а

агрегаты, создающие меньший шум, не дают заметного увеличения общего его уровня. Суммарный уровень шума, создаваемый источниками L_1 и L_2 при одновременной их работе

$$L_{\Sigma} = L_1 + \Delta L, \quad (8)$$

где ΔL – добавка, зависящая от разности двух складываемых уровней и принимаемая по таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Значения добавок при определении суммарного уровня звукового давления

Разность двух складываемых уровней, дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Добавка к более высокому уровню ΔL , дБ	3,0	2,5	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

Затем к полученному суммарному уровню звукового давления прибавляется добавка, зависящая от разности суммарного уровня и уровня третьего источника. Аналогично производится последовательное сложение всех остальных источников.

Пример. Даны уровни звукового давления, создаваемые тремя источниками: $L = 88$ дБ, $L = 91$ дБ, $L = 80$ дБ. Требуется определить суммарный уровень звукового давления.

Располагаем уровни звукового давления по степени убывания и производим последовательное вычисление, начиная с максимального:

$$L_1 > L_2 > L_3; \quad L_1 = 91 \text{ дБ}, \quad L_2 = 88 \text{ дБ}, \quad L_3 = 80 \text{ дБ}.$$

$$L_{\Sigma 1-2} = L_1 + \Delta L_{1-2},$$

где ΔL_{1-2} определяется по таблице 1.

$$\text{При } L_1 - L_2 = 91 - 88 = 3 \text{ дБ} \quad \Delta L_{1-2} = 1,8 \text{ дБ}.$$

Таким образом, $L_{\Sigma 1-2} = 91 + 1,8 = 92,8$ дБ. По разности $L_{\Sigma 1-2} - L_3 = 92,8 - 80 = 12,8$ дБ, по таблице 1 $\Delta L_{(\Sigma 1-2)-3} = 0,3$ дБ.

Суммарный уровень звукового давления

$$L_{\Sigma} = L_{\Sigma 1-2} + \Delta L_{(\Sigma 1-2)-3}; \quad L_{\Sigma} = 92,8 + 0,3 = 93,1; \quad L_{\Sigma} \approx 93 \text{ дБ}.$$

Чувствительность слуха падает с понижением частоты звука. Для того чтобы приблизить результаты объективных измерений к субъективному восприятию, вводят понятие скорректированного уровня звукового давления (уровня звуковой мощности и т.п.). Коррекция заключается в том, что вводятся зависящие от частоты звука поправки к уровню соответствующей величины. Эти поправки стандартизированы в международном масштабе. Наиболее употребительна коррекция A . Скорректированный уровень звукового давления (приведен в таблице 2) называется уровнем звука и измеряется в дБА;

$$L_A = L - \Delta L_A.$$

Т а б л и ц а 2 – Стандартное значение коррекции ΔL_A

Частота, Гц	26	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-------------	----	------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Коррекция $\Delta L_{A, I}$	80	42	26,3	16,1	8,6	3,2	0	-1,2	-1,0	1,1
--------------------------------	----	----	------	------	-----	-----	---	------	------	-----

Суммарный уровень звука со сложным спектральным составом определяется по уровням звука составляющих по формуле (6), куда вместо L_i подставляется L_{A_i} .

1.6 Определение среднего уровня звука и средних октавных уровней звукового давления при постоянном шуме

В соответствии с типовыми методиками при проведении исследований и оценке шума в реальных производственных условиях приходится определять среднее значение параметров шума по нескольким измерениям, но не менее 3.

Средний уровень звука

$$L_{\text{Аср}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{A_i}} - 10 \lg n, \quad (9)$$

где $10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{A_i}}$ – суммарный уровень звука, дБА;

$i = 1, 2, \dots, n$;

n – количество измерений в точке;

L_{A_i} – измеренные уровни звука, дБА.

Средний октавный уровень звукового давления

$$L_{\text{ср}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} - 10 \lg n, \quad (10)$$

где $10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}$ – суммарный уровень звукового давления, дБ;

$i = 1, 2, \dots, n$;

n – количество измерений в точке;

L_i – измеренные октавные уровни звукового давления, дБА.

Суммарные уровни звукового давления можно вычислить по формуле (6) с определенными значениями добавок (см. таблицу 1).

Суммирование уровней звука или звукового давления производят по методике, приведенной в п. 1.5 в следующем порядке:

- 1) определяют разность двух складываемых уровней;
- 2) определяют добавку к более высокому уровню по таблице 1;
- 3) прибавляют добавку к более высокому уровню;
- 4) аналогичные действия производят с полученной суммой и третьим уровнем и т.д.
- 5) из суммарного уровня звука, общего и октавного уровня звукового

давления необходимо вычесть значение $10 \lg n$. Полученные средние значения уровня звука, общего и октавного уровня звукового давления будут искомыми величинами.

Если разность между наибольшим и наименьшим измеренными уровнями не превышает 5 дБ, то среднее значение измеренных уровней $L_{\text{Аср}}$, $L_{\text{ср}}$ определяют как их среднее арифметическое значение.

1.7 Расчет ожидаемого уровня шума и требуемой эффективности мероприятий по шумоглушению

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

Источниками механического шума являются механические вибрации.

Источниками аэродинамического шума могут быть нестационарные явления при течении газов и жидкостей. Меры борьбы с аэродинамическим шумом в источнике его возникновения состоят, прежде всего, в правильном выборе параметров установок. Например, снизив скорость движения воздуха в воздуховодах и воздухонагревателях вентиляционной установки, можно уменьшить давление, развиваемое вентилятором, и его шум. Правда, это приводит к увеличению габаритов установки, ее массы и стоимости. Поэтому снижение скорости целесообразно производить в комплексе с глушителями, устанавливаемыми в воздуховодах. Способ снижения шума выбирают на основе технико-экономического расчета.

В гидродинамических установках (насосы, турбины) следует избегать возникновения кавитации, вызывающей гидродинамический шум.

Источниками электромагнитного шума являются механические колебания электротехнических устройств, возбуждаемые переменными магнитными и электрическими полями. К методам борьбы с этим шумом относят применение ферромагнитных материалов с малой магнитострикцией, уменьшение плотностей магнитных потоков в электрических машинах за счет надлежащего выбора их параметров, хорошую затяжку пакетов пластин в сердечниках трансформаторов, дросселей, якорей двигателей и т.п.; косые газы для обмоток и растягивающие эти импульсы во времени.

Источник шума характеризуют звуковой мощностью P , под которой понимают количество звуковой энергии, излучаемой источником шума в окружающее пространство за единицу времени.

Уровень звуковой мощности (в децибелах) дБ

$$L_p = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (11)$$

где P_0 – пороговая величина звуковой мощности, равная 10^{-12} Вт.

Источник шума характеризуется общим уровнем звуковой мощности $L_{P\Sigma}$, спектром звуковой мощности, т. е. распределением уровней звуковой мощности по октавным полосам частот (октавными уровнями звуковой мощности L_{Pi}), характеристикой направленности излучения (при неравномерном излучении), а также скорректированным уровнем звуковой мощности L_{PA} , дБА.

Неравномерность излучения источника шума в различных направлениях может быть выражена через фактор направленности Φ :

$$\Phi = \frac{p_r^2}{p_{r\text{оср}}^2}, \quad (12)$$

где p_r – звуковое давление на расстоянии r от источника в определенном направлении, Па ($\text{Н}/\text{м}^2$);

$p_{r\text{оср}}$ – звуковое давление на расстоянии r от источника при равномерном излучении во все стороны, Па ($\text{Н}/\text{м}^2$),

$$p_{r\text{оср}} = \frac{P_{P\Sigma}}{4\pi r^2}. \quad (13)$$

Характеристикой направленности называется зависимость фактора направленности Φ от направления на источник, характеризуемого углом ν между направлением, принятым за основное, и направлением, проходящим через точку наблюдения.

При расположении источника с равномерным излучением на отражающей плоскости (пол, крыша, середина стены) $\Phi = 2$. При расположении такого источника вблизи двугранного угла $\Phi = 4$; вблизи трехгранного угла $\Phi = 8$ (рисунок 1).

Совокупность $L_{P\Sigma}$, L_{Pi} , Φ , L_{PA} называется шумовой характеристикой источника шума (машины и т. п.). Важнейшими из них являются значения восьми октавных уровней звуковой мощности L_{Pi} и в некоторых случаях значения факторов направленности Φ в этих же октавных полосах для различных полярных углов ν .

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

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

В зависимости от того, где находится расчетная точка – в открытом пространстве или в помещении, применяют различные расчетные формулы.

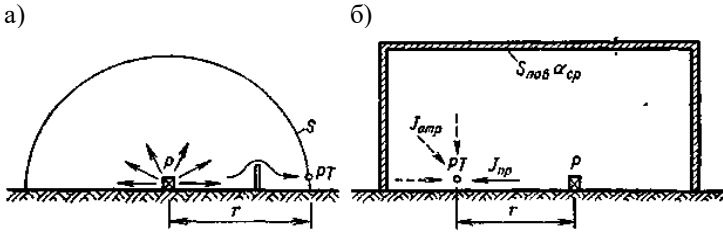


Рисунок 1 – Схема акустического расчета:
 а – в открытом пространстве; б – в помещениях

При действии источника шума со звуковой мощностью P (см. рисунок 1, а) интенсивность шума в расчетной точке

$$I = \frac{P\Phi}{Sk}, \quad (14)$$

где S – площадь, принимаемая равной поверхности, на которую распределяется излучаемая энергия; в частности, если источник находится на ровной поверхности, $S = 2\pi r^2$ (r – расстояние между источником звука и точкой наблюдения);

k – коэффициент снижения шума на пути его распространения при наличии препятствий и затухания в воздухе.

Разделим левую и правую части выражения (14) на I_0 и прологарифмируем:

$$10\lg \frac{I}{I_0} = 10\lg \frac{P}{I_0 \cdot 1 \text{ м}^2} + 10\lg\Phi - \lg S - \lg k, \quad (15)$$

Обозначив величину $10\lg k$ через ΔL_p и помня, что $L = 10\lg (J/J_0)$, а $L_p = 10\lg (P/P_0)$, преобразуем предыдущее выражение:

$$L = L_p + 10\lg\Phi - 10\lg S - \Delta L_p, \quad (16)$$

где L – искомый уровень звукового давления в дБ;

L_p – уровень звуковой мощности источника шума, дБ, величина которого берется из справочников или определяется расчетом;

ΔL_p – снижение уровня звуковой мощности шума на пути его распространения, дБ, величина которого при отсутствии препятствий и небольших (до 50 м) расстояниях равна нулю.

Средства защиты от шума, применяемые на предприятиях, подразделяются на средства коллективной (СКЗ) и индивидуальной (СИЗ) защиты. Классификация средств коллективной защиты приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Средства коллективной защиты от шума на пути его распространения

Расчет требуемого снижения шума

Требуемое снижение уровней звукового давления в расчетной точке от одного источника шума определяется как разность ожидаемого уровня звукового давления в расчетной точке до осуществления мероприятий по снижению шума L и допустимого уровня $L_{\text{доп}}$:

$$\Delta L_{\text{тр}} = L - L_{\text{доп}}, \quad (17)$$

где $L_{\text{доп}}$ – допустимый уровень звукового давления, дБ,

$$L_{\text{доп}} = L_n + \sum_i \Delta_{ni}.$$

Если в расчетную точку одновременно попадает шум от нескольких источников, то рассчитывают уровни звукового давления каждого источника в отдельности. Для одинаковых источников или разных источников, равноценных по сложности заглушения, требуемое снижение уровней звукового давления в расчетной точке для каждого источника шума

$$\Delta L_{\text{тр}i} = L_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg n, \quad (18)$$

где L_i – ожидаемый октавный уровень звукового давления, создаваемый рассматриваемым источником шума в расчетной точке, дБ;

$L_{\text{доп}}$ – допустимый уровень звукового давления в расчетной точке, дБ;

n – общее количество принимаемых в расчет источников шума.

Если в помещении или на территории есть один или несколько источников шума, заглушение которых связано с большими техническими трудностями по сравнению с другими источниками (например, источники с

очень высокими уровнями звуковой мощности), требуемое снижение уровней звукового давления в расчетной точке рассчитывают следующим образом:

а) для каждого труднозаглушаемого источника

$$\Delta L_{\text{тp}i} = L_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg n_1 \quad (19)$$

где n_1 – общее количество труднозаглушаемых источников;

б) для каждого из остальных источников

$$\Delta L_{\text{тp}i} = L_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg(n - n_1) + 5, \quad (20)$$

где n – общее количество принимаемых в расчет источников шума.

При определении $\Delta L_{\text{тp}}$ в расчетных точках, расположенных на территории промышленного предприятия, в общее количество принимаемых в расчет источников входят: элементы ограждений, в том числе горизонтальные ограждающие конструкции (например, наружные перекрытия), ориентированные в сторону расчетной точки, через которые шум из помещений попадает в расчетную точку; выходные отверстия каналов и шахт, излучающих шум в атмосферу; агрегаты, установки и т. п., размещенные на этой территории.

При определении $\Delta L_{\text{тp}}$ для расчетных точек в изолируемом помещении в общее количество n принимаемых в расчет источников входит число элементов ограждений, через которые шум проникает в изолируемое помещение, общее количество систем механической вентиляции, которые обслуживают рассматриваемое помещение, и шумное оборудование, установленное в помещении. В общем количестве n не учитываются те источники шума, которые создают в расчетной точке уровни звукового давления L_i ниже допустимых $L_{\text{доп}}$ на величину ΔL_0 в каждой октавной полосе, т. е. для которых выполняется соотношение

$$L_{\text{доп}} - L_i \geq \Delta L_0.$$

При этом величина ΔL_0 зависит от количества малошумных источников m ($\Delta L_0 = 10 \lg m + 5$ дБ).

При определении L_i в формулах (18) – (20) для разных источников шума расстояние r_i можно принимать одинаковым ($r_i = r_{\text{ср}}$), если расстояния r_i от каждого источника (например, отверстия всасывающих и выхлопных воздуховодов) близки между собой, т. е. $r_{\text{макс}} \leq 1,5r_{\text{мин}}$.

Для одинаковых по излучаемой мощности источников в этом случае достаточно рассчитать требуемое заглушение для одного из источников, принимая $r_i = r_{\text{ср}}$. Тогда требуемое заглушение будет одинаковым для всех этих источников.

В замкнутых помещениях с шумным оборудованием вычисляют также требуемое снижение шума при одновременной работе всех источников:

$$\Delta L_{\text{тр.общ}} = L_{\text{общ}} - L_{\text{доп}}, \quad (21)$$

где $L_{\text{общ}}$ – октавный уровень звукового давления в расчетной точке от всех источников шума, дБ.

Если необходимо определить желательную шумовую характеристику оборудования, при которой не потребуются никакие строительно-акустические мероприятия по шумоглушению, необходимо выполнить акустический расчет, положив $\Delta L_{\text{три}} = 0$, и найти L_{pi} во всех октавных полосах из приведенных выше формул. Если паспортная величина уровня звуковой мощности ни в одной октавной полосе не превышает полученного значения, строительно-акустические мероприятия не будут нужны.

К основным направлениям борьбы с шумом техническими средствами относятся:

- 1) уменьшение звуковой мощности источника;
- 2) использование направленности источника (или выходного отверстия присоединенного к источнику трубопровода) таким образом, чтобы максимум характеристики направленности был обращен либо вверх, либо в сторону зданий или участка местности, для которых допустимый уровень шума наиболее высок или не нормируется;
- 3) увеличение площади замкнутой поверхности S , на которую распределяется звуковая мощность источника, что достигается при помощи архитектурно-планировочных решений (источники шума следует размещать как можно дальше от рабочих мест);
- 4) увеличение ослабления звуковой энергии ΔL_p между источником шума и рабочим местом посредством звукоизолирующих преград (стены, перекрытия, кожуха, кабины наблюдения и т. п.), звукопоглощающих облицовок и звукопоглощающих конструкций, экранов, глушителей, виброизоляторов. Возможно применение шумоглушащих устройств с отрицательной обратной акустической связью (подавление шума обеспечивается таким же шумом, подаваемым в противоположной фазе при помощи радиотехнических средств с приходящим на рабочее место внешним шумом). Средства индивидуальной защиты также увеличивают ΔL_p .

1.8 Нормирование шума

Нормируемыми параметрами шума на рабочих местах являются:

- 1) для постоянного шума:
 - уровни звукового давления L , в децибелах, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц;

- L_A – уровень звука, дБА;
- 2) для непостоянного шума (кроме импульсного):
 - эквивалентный (по энергии) уровень звука, дБА;
 - максимальный уровень звука, дБА;
- 3) для импульсного шума:
 - эквивалентный уровень звука, дБА;
 - максимальный уровень звука, дБА.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука, регламентируемые ГОСТ 12.1.003 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002, представлены в приложении Б.

Для характеристики и оценки шума устанавливаются следующие измеряемые и рассчитываемые величины в зависимости от временных характеристик шума:

- для постоянного шума – октавные уровни звукового давления, дБ; уровень звука, дБА;
- для колеблющегося во времени – эквивалентный и максимальный уровни звука, дБА;
- для импульсного звука – эквивалентный уровень звука, дБА, и максимальный уровень звука, дБА;
- для прерывистого звука – эквивалентный и максимальный уровни звука, дБА.

Измерения шума проводятся для контроля соответствия фактических уровней шума на рабочих местах допустимым по действующим нормам.

На предприятиях должен осуществляться периодический контроль за состоянием уровней шума на рабочих местах в соответствии с требованиями Санитарных норм, правил и гигиенических нормативов «Гигиенические требования к условиям труда работников и содержанию производственных предприятий» (СанПиН 98-2010). При этом перечень мест измерений и периодичность контроля согласовывается с органами и учреждениями, осуществляющими государственный надзор. Периодичность такого контроля и порядок оценки уровней шума приведены в таблице 3.

Методы измерения шума на рабочих местах устанавливают стандарты и типовые методики по проведению измерений и гигиенической оценки шумов на рабочих местах, утвержденные в установленном порядке.

Т а б л и ц а 3 – Периодичность проведения лабораторного контроля за состоянием производственных факторов на рабочих местах

Наименование фактора	Периодичность контроля	Наименование ТНПА
1 Шум	Не реже 1 раза в год	СанПиН №2.2.4/2.1.8.10-32-2002 «Шум на рабочих местах, жилых зданий и на территории жилой застройки», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики

		Беларусь от 31 декабря 2002 г. № 158, с изменениями и дополнениями, утвержденными постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 12 декабря 2005 г. № 220
2 Инфразвук	Не реже 1 раза в год	СанПиН №2.2.4/2.1.8.10-35-2002 «Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 31 декабря 2002 г. № 161, с изменениями и дополнениями, утвержденными постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 23 августа 2005 г. № 118
3 Ультразвук	Не реже 1 раза в год	СанПиН № 9-87-98 «Ультразвук, передающийся воздушным путем. Предельно допустимые уровни на рабочих местах», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 31 декабря 1998 г. № 53. СанПиН № 9-87-98 «Ультразвук, передающийся контактным путем. Предельно допустимые уровни на рабочих местах», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 31 декабря 1998 г. № 53.

2 АППАРАТУРА, ПРИМЕНЯЕМАЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМА

Для измерения параметров шума применяются специальные акустические приборы, которые изготавливаются по международным стандартам и включаются в Государственный реестр средств измерений. Такие приборы должны проходить в установленные сроки обязательную государственную поверку, в процессе которой определяются основные метрологические характеристики и погрешности, исправность приборов и их пригодность для измерений.

Для проведения акустических измерений обычно формируется измерительный тракт, включающий необходимые приборы и приспособления. Ниже приводится назначение, общие характеристики, принцип действия основных акустических средств измерений.

2.1 Общие характеристики акустических средств измерений

Для измерения уровня различных параметров шума применяют шумомеры, измерительные микрофоны, дозиметры шума, анализаторы спектра, спектрометры.

Шумомер – измерительный прибор, предназначенный для измерения уровней звука или звукового давления. Он состоит из измерительного

микрофона и усилителя измерительного прибора.

Шумомеры имеют четыре частотные характеристики: линейную (Лин.) – для измерения звукового давления и корректирующие – A , B и C и временные характеристики F , S , I или некоторые из них. Характеристика A имитирует кривую чувствительности уха человека при малых уровнях громкости шума, характеристика B – при средних уровнях и C – при высоких. Последовательно измеряя шум на всех четырех характеристиках, можно ориентировочно оценить характер спектра шума.

В шумомерах предусмотрены выходы к самописцам и анализирующим приборам. Для анализа шума широко используется его запись. В этом случае шум на производстве или подвижном составе записывается, одновременно общий уровень шума измеряется шумомером, затем в лаборатории шум анализируется на спектрометрах или анализаторах.

Измерение уровней звука и звукового давления проводят аппаратурой не ниже 1-го класса точности по ГОСТ 17187 и ГОСТ 17168 с основной погрешностью $\pm 0,7$ дБ.

Средства измерения и контроля уровня звука и звукового давления должны быть внесены в Государственный реестр измерительной техники и иметь действующее свидетельство о государственной поверке.

Микрофон – электроакустический преобразователь, с помощью которого акустические колебания в газовой среде преобразуются в электрические. В состав микрофона входят: чувствительный элемент – капсуль, согласующий элемент – предусилитель, соединительные кабели, а также микрофонный усилитель и блок питания, если они являются неотъемлемыми частями устройства и предусмотрены в технической документации на микрофон.

Наибольшее распространение получили измерительные микрофоны конденсаторной, пьезоэлектрической, а также электродинамической систем и электретные.

Конденсаторные измерительные микрофоны. Принцип действия конденсаторного микрофона основан на преобразовании звукового давления, поступающего на его мембрану, в изменении емкости конденсатора, образуемого мембраной, неподвижным электродом и воздушным зазором между ними. Чувствительность микрофона по давлению

$$M_p = \frac{V}{p},$$

где V – эффективное значение напряжения на выходе микрофона, В;

p – эффективное значение звукового давления, равномерно распределенного по поверхности мембраны, Па.

Пьезоэлектрические микрофоны. Пьезоэлектрические измерительные микрофоны, в отличие от конденсаторных, не требуют напряжения

поляризации и имеют большую электрическую емкость. При определенном конструктивном исполнении на них меньше влияет влажность окружающего воздуха. Стоимость их ниже, чем конденсаторных. Все это обусловило их применение в шумомерах второго класса.

Принцип действия пьезоэлектрического микрофона основан на возникновении электрического потенциала на пьезоэлектрической пластине при воздействии на нее звукового давления. Появляющееся при этом на выходных зажимах напряжение поступает на вход усилителя.

Чувствительность пьезоэлектрического микрофона на порядок ниже, чем конденсаторного того же диаметра, причем с повышением температуры она понижается. Его частотная характеристика имеет несколько большую неравномерность (± 3 дБ), чем у конденсаторного (± 2 дБ).

Электродинамические микрофоны. При воздействии звукового давления на диафрагму электродинамического микрофона связанная с ней звуковая катушка перемещается в радиальном поле постоянного магнита и в катушке индуцируется ЭДС. Напряжение со звуковой катушки подается на вход усилителя непосредственно или через трансформатор. Диаметр электродинамического микрофона больше, а чувствительность примерно в 20 раз меньше, чем у конденсаторного (диаметр последнего 23,77 мм). Общая неравномерность частотной характеристики в диапазоне 40–10000 Гц составляет 8 дБ.

Дозиметры шума. Дозиметр шума – прибор для измерения эквивалентного уровня звука в соответствии с рекомендацией ИСО. Прибор подключают к электрическому выходу шумомера и измеряют средний по энергии уровень звука в дБА, соответствующий среднему значению колеблющегося уровня за определенный промежуток времени. Импульсы регистрирует счетчик за определенное время – от 15 мин до 8 ч. Промежуток времени до 1 ч устанавливается автоматически с помощью часового механизма. По показаниям счетчика и номограмме, нанесенной на передней панели дозиметра шума, определяют эквивалентный уровень звука.

Анализаторы спектра. Их делят на анализаторы с постоянной относительной шириной полосы и с постоянной абсолютной шириной полосы. Полоса пропускания таких приборов – интервал частот, в пределах которого фильтр пропускает сигнал; полоса заграждения – интервал частот, в пределах которого сигнал не проходит через фильтр или ослабляется.

Спектрометры. Спектрометром называют анализатор спектра с полосами пропускания, равными октаве или ее долям. Частотная характеристика спектрометра на средних частотах полос равномерна. Для спектрометра, состоящего из шумомера и полосовых фильтров, допускается замена линейной характеристики характеристикой S . Средние и граничные частоты полос соответствуют стандартным предпочтительным частотам. Диапазон частот спектрометра называют интервалом между среднегеометрическими частотами крайних полос.

2.2 Шумомер-анализатор спектра ОКТАВА-101А

Шумомер-анализатор спектра ОКТАВА-101А (рисунок 3) предназначен для измерения среднеквадратичных, эквивалентных и пиковых уровней звука, уровней звукового давления (УЗД) в октавных и третьоктавных полосах частот с целью оценки влияния звука и инфразвука на человека на производстве и в жилых и общественных зданиях, определения акустических характеристик механизмов и машин, а также научных исследований.



Рисунок 3 – Общий вид шумомера-анализатора ОКТАВА-101А

Измеряемые параметры. Прибор одновременно измеряет:

- среднеквадратичные скорректированные уровни звука с частотными коррекциями *A* и *C* на временных характеристиках *S*, *F*, *I*, *Leg* (эквивалентный) – индикация в режиме «ЗВУК»;
- среднеквадратичные уровни звукового давления с частотной коррекцией «*Лин*» на временных характеристиках *S*, *F*, *I*, *Leg* (эквивалентный) – индикация в режиме «ЗВУК»;
- пиковые уровни звукового давления «*Лин*» и пиковые уровни звука с коррекцией *C* – индикация в режиме «ЗВУК», «Спектр – Да»;
- среднеквадратичные уровни звукового давления в октавных полосах частот 31,5–8000 Гц и в 1/3-октавных полосах частот 25–16000 Гц и на временных характеристиках *S*, *F*, *I*, *Leg* – индицируются в режиме «ЗВУК», «Спектр – Да»;
- среднеквадратичные уровни звукового давления в ненормируемой октавной полосе 16000 Гц на временных характеристиках *S*, *F*, *I*, *Leg* – индицируются в режиме «ЗВУК», «Спектр – Да» и предназначены для ориентировочных замеров ультразвука;
- среднеквадратичные уровни звукового давления в октавных полосах частот 2–16 Гц и в 1/3-октавных полосах частот 1,6–20 Гц и на временных характеристиках *Ic*, *30c*, *Leg* – индикация режиме «Инфразвук».

Прибор удерживает максимальные и минимальные значения среднеквадратичных уровней за время измерения.

Технические характеристики. Погрешность измерений шумомера в нормальных условиях применения для плоской волны частотой 1000 Гц и уровнем 94 дБ, распространяющейся в опорном направлении (ортогональном плоскости мембраны микрофонного капсуля) в условиях свободного акустического поля, на характеристике *S* не превышает $\pm 0,7$ дБ.

Предельное отклонение относительной частотной характеристики (относительно уровня на частоте 1000 Гц) от номинала (неравномерность

АЧХ) в диапазоне частот 1,6 Гц – 20 кГц:

- с предуслителем КММ-400 и микрофонным капсулем ВМК – 205: $\pm 2,0$ дБ;
- с адаптером прямого входа ОКТ-101DIR: $\pm 0,3$ дБ.

Опорная частота шумомера: 1000 Гц.

Опорный уровень шумомера: 94 дБ (отн. 20 мкПа).

Частотная коррекция: *A, C, Лин.*

Диапазон измерений прибора с микрофоном, чувствительность которого соответствует коэффициенту калибровки 50,00: 22–145 дБА, 25–145 дБС, 50–145 дБЛин.

Временные характеристики:

– в режиме «Звук» – *S, F, I, Пик, Leg* (эквивалентный по энергии за все время измерений);

– в режиме «Инфразвук» – *«Ic» (S), «30с», Leg.*

Фильтры:

– встроенные цифровые октавные фильтры с номинальными среднегеометрическими частотами 2; 4; 8; 16 Гц (индикация в режиме «Инфразвук»); 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц (индикация в режиме «Звук»).

– встроенные цифровые 1/3-октавные фильтры с номинальными среднегеометрическими частотами 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20 Гц (индикация в режиме «Инфразвук»); 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000; 12500; 16000 Гц (индикация в режиме «Звук»).

Частотный диапазон в реальном времени: 1,6 Гц – 16кГц.

2.3 Точный импульсный шумомер 00024

Точный импульсный шумомер 00024 (рисунок 4) – это батарейный прибор для точного определения уровня шумов с любой характеристикой во времени. С помощью внешних фильтров возможно проведение частотного анализа шума.

Технические данные:

1 Диапазон рабочих температур – от минус 10 до плюс 50 °С.

2 Замеряемые уровни:

- не приведенные от 45 до 140 дБ;
- А-приведенные – от 35 до 140 дБ;
- октавные уровни – от 35 (30) до 140 дБ;
- терц-уровни – от 30 до 140 дБ.

3 Частотный диапазон – от 20 Гц до 12,5 кГц.

4 Основная погрешность прибора – плюс 1 дБ.

5 Шкала прибора отградуирована в пределах от минус 5 до плюс 10 дБ.

6 Питание от источника постоянного тока напряжением 9 В.

Принцип работы и устройство. Звуковое давление с помощью микрофона преобразуется в электрическое переменное напряжение. Далее сигнал усиливается, выпрямляется и подается на индикаторный прибор.

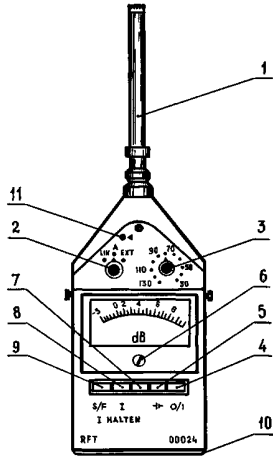


Рисунок 4 – Общий вид точного импульсного шумомера 00024:

- 1 – микрофон; 2 – переключатель ПРИВЕДЕНИЕ; 3 – переключатель ДИАПАЗОН; 4 – кнопка ВКЛ./ВЫКЛ.; 5 – кнопка контроля напряжения батареи; 6 – регулятор нулевой точки; 7 – кнопка гашения; 8 – кнопка временного приведения ИМПУЛЬС; 9 – кнопка временного приведения ЗЕО X / ЕАЗТ; 10 – крышка батарейной кассеты; 11 – регулятор калибровки

Прибор имеет три режима работы: LIN – линейный, предназначенный для измерения суммарных и частотных составляющих некорректированных уровней звукового давления в децибелах; A – для измерения уровней звукового давления, дБА; EXT – для проведения частотного анализа шума с помощью внешних фильтров. Кроме того, прибор имеет временные характеристики: FAST (быстро), SLOW (медленно), I (импульс), I HALTEN (импульс удерживается). PAST используется для замера постоянного шума, SLOW – для измерения сильно колеблющихся звуков и определения шумового уровня. Прибор имеет калибровочный регулятор, позволяющий выбрать правильную величину усиления при акустической калибровке с помощью пистонфона.

Проведение измерений. Переключатель диапазонов измерения 3 (см. рисунок 4) устанавливается на 130 дБ. Переключатель приведения 2 устанавливается на требуемое положение, а переключатели временных характеристик – в положение, соответствующее характеру измеряемого шума. Нажатием кнопки 4 – прибор включается в работу. Поворотом переключателя 3 необходимо добиться хорошо отсчитываемого показания (стрелка должна находиться в пределах рабочей шкалы прибора). Искомый уровень звукового давления получается как сумма численного значения включенного диапазона и показания в дБ стрелочного указателя.

При использовании приведения во времени ИМПУЛЬС надо отсчитывать максимальное значение показания, при FAST или SLOW – среднюю величину колеблющегося указания.

2.4 Точный импульсный шумомер 00017

Точный импульсный шумомер 00017 (рисунок 5) – это переносный,

независимый от сети прибор для точного определения уровня звукового давления шумов с любой временной характеристикой.

Прибор имеет встроенные октавные фильтры, что позволяет проводить частотные анализы по 12 октавным полосам.

Технические данные:

Линейный частотный диапазон – от 2 Гц до 100 кГц.

1 Измеряемые уровни – 20–140 дБ.

2 Шкала уровней звукового давления отградуирована:

– ступени по 1 дБ – от минус 5 до 0 дБ;

– ступени по 0,5 дБ – от 0 до 10 дБ.

3 Основная погрешность всего прибора для 80 дБ и 1000 Гц – 1 дБ.

4 Климатические условия:

– пределы температуры при эксплуатации – минус 20 °С до плюс 50 °С;

– относительная влажность воздуха – не более 90 %.

5 Питание осуществляется от пяти элементов типа 373 или от сетевого блока.

6 Масса прибора – не более 4 кг.

1 – вход; 2 – переключатель нижней граничной частоты; 3 – выключатель обогрева микрофона; 4 – указание перемодулировки; 5 – переключатель поддиапазонов измерения; 6 – установочный диск; 7 – индикаторное окошечко; 8 – переключатель поддиапазонов измерения; 9 – октавный фильтр; 10 – клавиша гашения; 11 – переключатель частотного приведения; 12 – регулятор калибровки; 13 – лампочка сигнализация готовности; 14 – переключатель временного приведения; 15 – регулятор нулевой точки; 16 – вход переменного напряжения; 17 – выход постоянного напряжения; 18 – микрофон

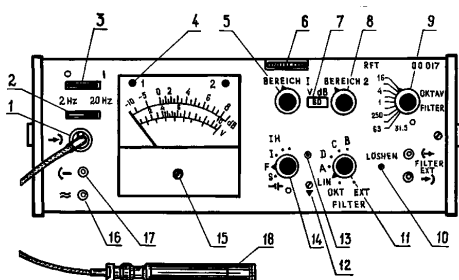


Рисунок 5 – Общий вид точного импульсного шумомера 00017:

Принцип работы и устройства. Замеряемые значения уровней звукового давления получают путем преобразования принимаемых звуковых волн в пропорциональные звуковым давлениям переменные напряжения в измерительном микрофоне. Эффективные значения этих переменных напряжений после соответствующих усиления, приведения, выпрямления регистрируются индикаторным прибором. Частотное приведение (коррекция) сигнала осуществляется внутренними переключаемыми фильтрами *A*, *B*, *C* или *D*, октавным фильтром с 12 поддиапазонами между 31,5 Гц и 63 кГц либо внешне подключаемыми фильтрами.

Предусматривается внутренняя калибровка стабилизированным по амплитуде синусоидальным генератором и внешняя акустическая калибровка с помощью пистонфона.

Проведение измерений. При измерениях уровня шума с частотной

коррекцией *A, B, C, D, LIN* переключатели поддиапазонов измерений 5 и 8 устанавливаются на максимальный поддиапазон. Частотной коррекции 11 и временного приведения 14 – устанавливаются в требуемое условиями измерений положение, а переключатель нижней граничной частоты 2 – в положение «20 Гц». Мерцающая лампочка 13 показывает, что прибор находится в состоянии готовности и можно производить измерения. При сохранении последовательности переключатели поддиапазонов измерений 5 и 8 поворачиваются вправо до получения на индикаторном приборе хорошо отсчитываемого показания. Результат измерения получается суммированием показаний измерительных поддиапазонов и индикаторного прибора.

При проведении частотного анализа шума переключатель частотной коррекции 11 устанавливается в положение **ОКТАВНЫЕ ФИЛЬТРЫ**, а переключатели временного приведения 14 – в положение **SLOW** (медленно) и **ОКТАВНЫЕ ФИЛЬТРЫ** 9 – на требуемую среднегеометрическую частоту. В дальнейшем порядок измерения аналогичен измерению уровней шума без октавных фильтров.

2.5 Четырехканальный шумомер, виброметр, анализатор спектра SVAN-958

Современный прибор пятого поколения предназначен для измерения и анализа шума и вибрации. SVAN-958 – единственный в мире четырехканальный прибор для измерения шума и вибрации (рисунок 6).



Прибор измеряет все параметры акустических и вибрационных сигналов с сохранением результатов во внутренней энергонезависимой памяти. SVAN-958, сочетая функции двух приборов, позволяет измерять вибрацию по трем осям и шум одновременно. Архитектура прибора максимально адаптирована для работы с вычислительной техникой. Использование портов USB и HOST USB позволяет осуществлять дистанционное управление

прибором либо по кабелю USB, либо через инфракрасный порт, подключать напрямую к прибору (минуя компьютер) внешние устройства, использовать для записи и хранения измеренных данных внешней флеш-памяти,

Рисунок 6 – Общий вид прибора для передавать и записывать измеряемый измерения и анализа сигнал на компьютер в режиме шума и вибрации SVAN-958 реального времени.

Прибор SVAN-958 предназначен для специалистов, занимающихся санитарно-гигиеническими измерениями, мониторингом производственного шума и вибрации на рабочих местах и в жилье, измерениями шумовых и вибрационных характеристик источников. Особенно этот прибор эффективен при измерении локальной вибрации, а также транспортного шума и вибрации.

В приборе SVAN-958 реализованы:

- новейшая современная элементная база;
- мощный цифровой сигнальный процессор нового поколения;
- большой набор измерительных функций;
- встроенные корректирующие фильтры для измерения общей и локальной вибрации в соответствии с требованиями как российских санитарных норм, так и международных стандартов;
- новое поколение микрофонов, производства японской фирмы ACO;
- большой, контрастный с высоким разрешением жидкокристаллический дисплей с яркой подсветкой;
- малое энергопотребление прибора, позволяющее использовать в качестве элементов питания стандартные батарейки размера AA или перезаряжаемые аккумуляторы;
- возможность питания прибора от сети переменного тока 220 В через сетевой блок питания;
- современные порты связи с компьютером USB и USB HOST;
- прямая запись измеренных данных на внешнюю флеш-память;
- использование внешней флеш-памяти, снимающее вопрос об ограничении памяти для записи данных;
- инфракрасный порт для дистанционной передачи данных между прибором и компьютером;
- режим записи временной истории измеряемого сигнала во внутреннюю память прибора или внешнюю флеш-память, позволяющий зафиксировать импульсные сигналы длительностью всего 2 мс. Значение этой возможности трудно переоценить при измерении и оценке импульсного шума;
- одновременное измерение звукового сигнала с тремя разными настройками прибора. Данный режим крайне важен в случаях, когда надо выполнить сравнение нескольких измерений.

Базовый комплект поставки предусматривает измерения:

- максимального, минимального, импульсного, текущего и эквивалентного уровней звука, инфразвука, ультразвука одновременно по четырем каналам;
- общей и локальной вибрации одновременно по четырем каналам;
- максимальной вибрации и дозы вибрации по всем четырем каналам;
- полной вибрации.

2.6 Четырехканальный шумомер, виброметр, анализатор спектра SVAN-959

Шумомер SVAN-959 (рисунок 7) выполняет измерение всех параметров акустических и вибрационных сигналов и сохраняет результаты во внутренней энергонезависимой памяти. Сочетая функции двух приборов, SVAN-959 незаменим при измерениях в «полевых» условиях, на объектах и рабочих местах.

Архитектура прибора максимально адаптирована для работы с вычислительной техникой. SVAN-959 по праву занимает лидирующее положение среди подобных приборов по своим великолепным функциональным качествам, надежности и простоте сопряжения с компьютерами.



Рисунок 7 – Общий вид прибора для измерения и анализа шума и вибрации SVAN-959

Использование портов USB и HOST USB позволяет осуществлять дистанционное управление прибором либо по кабелю USB, либо через инфракрасный порт, подключать напрямую к прибору (минуя компьютер) внешние устройства, использовать для записи и хранения измеренных данных внешней флеш-памяти, передавать и записывать измеряемый сигнал на компьютер в режиме реального времени.

Прибор SVAN-959 предназначен для специалистов, занимающихся санитарно-гигиеническими измерениями, мониторингом производственного шума и вибрации на рабочих местах и в жилье, измерениями шумовых и вибрационных характеристик источников.

Особенности и преимущества. SVAN-959 – прибор нового поколения. В конструкции прибора реализованы самые современные технологии существующие на сегодняшний день в приборостроении. SVAN-959 – новый шаг в развитии приборов для измерения шума. В нем реализованы:

- новейшая современная элементная база;
- мощный цифровой сигнальный процессор нового поколения;
- большой набор измерительных функций;
- встроенные корректирующие фильтры для измерения общей и локальной вибрации в соответствии с требованиями как российских санитарных норм, так и международных стандартов;

Технические характеристики:

Класс точности – 1 по ГОСТ 17187-81 и МЭК 804:1985.

Измеряемые величины – L , $L_{экв}$, УЗЭ, 1/1-октавные спектры.

Динамический диапазон – не менее 60 дБ.

Диапазон измерений – 25–136 дБА (с микрофоном типа 4190 или аналогичными).

Частотный диапазон – 10–20000 Гц.

Основная погрешность измерения опорного уровня звука 94 дБ на опорной частоте 1000 Гц – не более 0,7 дБ.

Частотные характеристики – А, С и Лин.

Фильтры – цифровые, работающие одновременно в реальном времени 1/1-октавные в диапазоне 31,5 Гц – 8 кГц (9 фильтров), класса 1 по МЭК 1260; 1995.

Временные характеристики – S, F, I, Пик, ЛИН

Энергонезависимая память для результатов измерений – 2 Мбайт.

Рабочий диапазон температур – от минус 10 до плюс 40 °С.

Габаритные размеры прибора – 230×110×36 мм.

Масса прибора – не более 1 кг.

2.8 Измеритель шума и вибрации ВШВ-003-М3

Шумомер ВШВ-003-М3 (рисунок 9) предназначен для измерения параметров шума в свободном и диффузном звуковых полях и параметров вибрации:

- уровня звука с частотными характеристиками А, В, С;
- уровня звукового давления в октавных или третьоктавных полосах в диапазоне частот от 2 Гц до 16 кГц;
- уровня звукового давления с частотной характеристикой ЛИН в диапазоне частот от 2 Гц до 18 кГц;
- среднеквадратических значений и логарифмических уровней виброускорения и виброскорости в линейном диапазоне, в октавных или третьоктавных полосах в диапазоне частот от 1 Гц до 10 кГц.



Рисунок 9 – Общий вид шумомера ВШВ-003-М3

Прибор ВШВ-003-М3 с 1/3-октавными фильтрами является малогабаритным, портативным измерительным прибором и предназначен для измерения и анализа шума и вибрации в жилых помещениях, производственных и полевых условиях. Шумомер используется для определения источников и характеристик шума и вибрации в местах нахождения людей, при исследованиях и испытаниях машин и механизмов, при разработке и контроле качества изделий. Шумомер ВШВ-003-М3 имеет встроенные фильтры с частотными характеристиками А, В, С, а также полосовые фильтры: октавные и третьоктавные, позволяющие проводить классификацию, измерение и определение нормируемых параметров и характеристик шума и вибрации в соответствии с требованиями санитарных норм и стандартов безопасности труда.

Технические характеристики.

Полоса частот, Гц:

- измерения параметров, вибрации – 1–10000;
- уровня звукового давления по характеристике ЛИН – 2–18000.

Частотные характеристики – А, В, С, ЛИН.

Динамический диапазон измерения параметров вибрации:

- виброускорения, м/с^2 – $3 \cdot 10^3$;
- виброскорости, мм/с – $3 \cdot 10^2$;
- уровня звука, дБ отн. $2 \cdot 10^{-5}$ Па – 22–140.

Основная погрешность измерения:

- параметров вибрации, % – ± 10 ;
- шума (класс точности) – 1.

Потребляемая мощность, В · А:

- при питании от сети – 4;

– при питании от батарей – 1,2.

Фильтры октавные со средними геометрическими частотами, Гц – 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16000.

Масса измерительного прибора, кг – 4,5.

2.9 Анализатор спектра прецизионный интегрирующий модели 2800

Шумомер-анализатор спектра прецизионный интегрирующий модели 2800 предназначен для измерений уровня звука, уровня звукового давления, вибрации и спектрального анализа шума и вибрации в режиме реального времени.

Выпускается по технической документации фирмы «Larson-Davis», (США).

Применяется для определения спектра шума и вибрации в промышленности, в научных исследованиях, также службами санитарного надзора для оценки условий труда и контроля шума и вибрации в жилых и общественных зданиях.

Шумомер-анализатор спектра прецизионный интегрирующий модели 2800 представляет собой переносной измерительный прибор.

Принцип работы основан на аналого-цифровом преобразовании и цифровой фильтрации электрического сигнала, поступающего с микрофона или вибропреобразователя, с одновременной обработкой встроенным специализированным сигнальным микропроцессором. Информацию о режиме работы и представлении измеряемых величин можно наблюдать на LCD-дисплее. Если прибор находится в режиме «SLM», то он работает одновременно и как шумомер, и как анализатор, обеспечивая в реальном масштабе времени октавный или 1/3-октавный анализ спектра сигнала, или БПФ-анализ с разрешением по частоте в 100, 200, 400, 800 линий.

В режиме автоматического запоминания прибор накапливает в энергонезависимой памяти спектр измеряемого сигнала, а затем представляет на экране данные в удобной для пользователя форме. Прибор может работать под управлением компьютера через интерфейс RS-232, а также имеет ряд дополнительных встроенных функций. Может комплектоваться различными типами конденсаторных микрофонов и вибропреобразователей. Прибор питается от сетевого блока питания или



Рисунок 10 – Общий вид шумомера 2800

никель-кадмиевого аккумулятора.

Основные технические характеристики шумомера-анализатора модели 2800 приведены в таблице 4.

2.10 Шумомер модульный прецизионный модели 2231

Шумомер модульный прецизионный модели 2231 предназначен для измерения уровней звукового давления, эквивалентных уровней звукового давления, проведения статистического, октавного и третьоктавного анализа, а также анализа в инфразвуковой и ультразвуковой области при подключении внешних фильтров. Выпускается по технической документации фирмы "Briel & Kjaer", Дания.

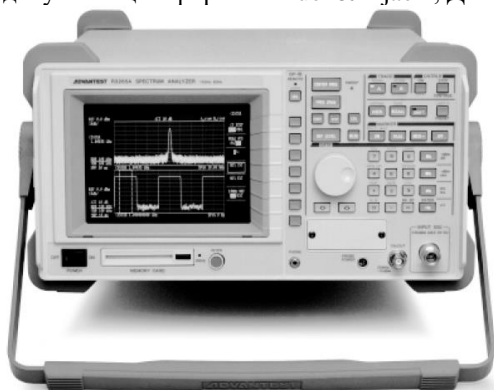


Рисунок 11 – Общий вид шумомера 2231

Прибор позволяет производить определение уровней звука импульсных шумов, создаваемых машинным оборудованием.

Область применения шумомера – научно-исследовательские работы и санитарно-гигиеническая оценка условий труда на предприятиях.

Шумомер представляет собой переносную многофункциональную систему. Он состоит из основного блока 2231 с управляющей клавиатурой, дисплеем, разъемами и сменных модулей.

На блоке 2231 имеются разъемы для подключения микрофона, модулей звуковых фильтров, модулей для измерения вибрации и модулей с программным обеспечением. Назначения клавиш на передней панели блока 2231 определяются в зависимости от выбранной конфигурации прибора. В комплект прибора входят три сменные панели на клавиатуру, которые позволяют управлять прибором в зависимости от загруженного в него программного обеспечения. После загрузки программ из сменных блоков во внутреннее запоминающее устройство блок удаляется. Шумомер имеет цифровой интерфейс для связи с персональным компьютером. Основные конфигурации прибора: измерение максимальных, минимальных, мгновенных, пиковых уровней звукового давления на корректирующих характеристиках А, С, Лин, а также эквивалентных уровней звука. Имеется

возможность статистической обработки результатов измерений.

Основные технические характеристики шумомера приведены в таблице 4.

2.11 Шумомер интегрирующий LA-5560

Шумомер интегрирующий LA-5560 (далее – LA-5560) предназначен для измерений уровней звука и звукового давления. Выпускается по технической документации фирмы «Ono Sokki Co., Ltd» (Япония).

Может применяться органами гигиены и эпидемиологии, охраны труда, испытательными лабораториями и научными учреждениями для определения условий труда и аттестации рабочих мест, сертификации продукции, научных исследований.

Шумомер LA-5560 представляет собой переносной измерительный прибор, состоящий из микрофона и измерительного блока. Принцип работы основан на аналого-цифровом преобразовании и цифровой фильтрации

электрического сигнала, поступающего с микрофона, с одновременной обработкой специализированным встроенным сигнальным микропроцессором. Информацию о режиме работы и представление измеренных величин можно наблюдать на жидкокристаллическом дисплее. В качестве анализатора спектра в реальном масштабе времени LA-5560 обеспечивает октавный и 1/3-октавный анализ.

В режиме автоматического запоминания LA-5560 накапливает в энергонезависимой памяти спектры измеряемого сигнала, а затем представляет на дисплее данные в удобной для пользователя форме. Дополнительная память – на сменных картах памяти формата Secure Digital.

LA-5560 имеет ряд дополнительных встроенных функций, может работать под управлением компьютера через интерфейс RS-232 или USB. Питание LA-5560 осуществляется от четырех заменяемых батареек или от внешнего источника питания постоянного тока.

Основные технические характеристики шумомера приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные технические характеристики шумомеров «Bruel & Kjaer» (модель 2231), «Larson-Davis» (модель 2231), «Ono Sokki Ltd»



Рисунок 12 – Общий вид шумомера LA-5560

(модель LA-5560)

Параметры	«Bruel & Kjaer» модели 2231	«Larson-Davis» модели 2800	«Ono Sokki Ltd» модели LA-5560
Диапазон измерения уровней звукового давления, дБ	24–133	2–130	35–137
Нелинейность амплитудной характеристики в диапазоне частот 10–20000 Гц, дБ, не более	±0,2	±0,2	±0,2
Неравномерность АЧХ в рабочем диапазоне частот для характеристик: А, С, Лин, дБ, не более	3,0	2,0	2,0
Коэффициент нелинейных искажений на выходе усилителя, %, не более	±1,0	±1,0	±1,0
Пределы допускаемой абсолютной погрешности, дБ	±0,7	±0,3	±0,3
Погрешность интегрирования при измерении эквивалентного уровня звука, дБА, не более	±1,6	±0,7	±0,7
Погрешность переключения пределов измерения, дБ	±1,0	±1,0	±1,0
Частотная коррекция	А, С	А, С, Lin	А, С, Lin
Временная характеристика: – для эквивалентного уровня звука, с – для режима "Пик", мкс	1 50	1 10	1 35
Динамическая характеристика	Импульс (I) Быстро (F) Медленно (S) Пик (Peak)	Импульс (I) Быстро (F) Медленно (S) Пик (Peak)	Импульс (I) Быстро (F) Медленно (S) Пик (Peak)
Детектор	СКЗ, Пик	СКЗ	СКЗ, Пик
Выходное напряжение, В: – переменное (СКЗ) – постоянное (СКЗ)	1 3	1 3	7,059 2,75
Выходное сопротивление, Ом: – по переменному току – постоянному току	120 100	110 90	115 95

Окончание таблицы 4

Параметры	«Bruel & Kjaer» модели 2231	«Larson-Davis» модели 2800	«Ono Sokki Ltd» модели LA-5560
Собственный уровень шума на характеристиках частотной коррекции:			
– А, дБА, не более	9	15	11
– С, дБС, не более	13	24	18
– Лин, дБ, не более	16	25	16
Габаритные размеры, мм, не более:			
– длина	370	280	347
– ширина	85	197	85
– высота	47	61	50
Масса с батареями питания, кг, не более	1,0	3,4	0,55
Питание автономное, В	4×1,5 В LR6	9	6
Условия эксплуатации:			
– температура окружающего воздуха, °С	20 + 5	–10...+50	0...+50
– относительная влажность воздуха, %	60 ± 15	60 ± 20	60 ± 30
– атмосферное давление, кПа	84–106	80–102	65–108
Основными нормативными документами для эксплуатации шумомеров являются стандарты: МЭК 225 (1966). Октавные, полуоктавные и третьоктавные фильтры для анализа звука и вибрации; МЭК 651 (1979). Шумомеры; МЭК 804 (1985). Интегрирующие и усредняющие шумомеры; ГОСТ 17168-82. Фильтры электрические октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний; ГОСТ 17187-81. Шумомеры. Общие технические требования и методы испытаний.			

3 ИЗМЕРЕНИЕ ШУМА НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

3.1 Порядок проведения замеров уровней звукового давления и уровней звука

Шум измеряется для контроля соответствия фактических уровней шума на рабочих местах производственных помещений допустимым нормам, для оценки шумового режима в производственных помещениях и разработки мероприятий по снижению шума.

На постоянных рабочих местах в производственных помещениях измерения проводятся в точках, соответствующих установленным постоянным рабочим местам. Если же рабочие места не постоянные, то измерения проводятся в нескольких точках, так, чтобы охватить возможно большую часть рабочей зоны. Минимальное число точек измерения в рабочей зоне в данном случае – три.

Для оценки шумового режима в производственных помещениях

необходимы следующие число и расположение точек измерения:

а) для помещений с однотипным технологическим оборудованием – не менее чем на трех постоянных рабочих местах или на трех соответствующих участках рабочей зоны при непостоянных рабочих местах;

б) для помещений с групповым размещением однотипного технологического оборудования – на постоянном рабочем месте или соответствующем участке рабочей зоны, в центре каждой группы оборудования;

в) для помещений со смешанным размещением разнотипного технологического оборудования – не менее чем на трех постоянных рабочих местах или соответственно на трех участках рабочей зоны для оборудования каждого типа;

г) для помещений с одиночно работающим технологическим оборудованием – на постоянном рабочем месте или соответственно в рабочей зоне этого оборудования.

Для оценки параметров шума, создаваемого одиночно работающим технологическим оборудованием в производственном помещении, следует вести измерения на постоянном рабочем месте или соответственно в рабочей зоне этого оборудования, когда остальное технологическое оборудование остановлено.

В производственных помещениях, не имеющих «шумного» технологического оборудования, измерения следует вести на трех постоянных рабочих местах или соответственно на трех участках рабочей зоны, расположенных ближе всего к источникам внешнего шума, при закрытых и открытых проемах в ограждающих конструкциях (окна, двери и др.) и включенных оборудовании, вентиляции и других источниках шума внутри соседних помещений.

Микрофон следует располагать на высоте 1,5 м над уровнем пола или рабочей площадки (если работа выполняется стоя) или на высоте головы человека, подвергающегося воздействию шума (если работа выполняется сидя). Микрофон должен быть направлен в сторону источника шума и удален не менее чем на 0,5 м от того, кто проводит измерения.

Для контроля соответствия фактических уровней шума на рабочих местах допустимым уровням по действующим нормам необходимо измерять шум, когда работает не менее 2/3 установленных в данном помещении единиц технологического оборудования при наиболее характерном режиме его работы. Должны быть включены оборудование вентиляции, а также другие, используемые обычно в помещении, устройства, являющиеся источниками шума.

При измерении постоянных и импульсных шумов следует проводить измерения не менее трех раз в каждой точке.

Измерения уровней звука и звукового давления на подвижном составе

выполняются по соответствующим стандартным методикам. При этом должны быть выполнены следующие требования:

1 Акустические измерения проводят при движении вагонов со скоростью составляющей 2/3 от конструкционной ± 5 км/ч, если в технической документации не оговорены другие скорости движения, а также на стоянке.

2 Скорость движения подвижного состава не должна отклоняться от постоянной величины более чем на 5 км/ч.

3 Измерения проводят на прямых бесстыковых участках пути, имеющих железобетонные шпалы в количестве 1840 шт./км, уложенные на щебеночный балластный слой. Допускается проведение измерений на звеньевом пути с деревянными шпалами.

Рельсы должны быть массой не менее 50 кг на метр длины без волнообразного износа. Допускается проводить измерения на кривых, радиус которых позволяет движение со скоростью 110 ± 10 км/ч.

Путь не должен иметь стрелочных переводов, подъемов или уклонов больше 5 ‰ и не проходить под мостами и тоннелями.

4 Двери и окна на объектах испытаний должны быть закрыты.

5 Система обеспечения микроклимата должна работать в штатном режиме эксплуатации.

6 На объектах испытаний, кроме обслуживающего персонала, допускается присутствие не более двух испытателей.

7 Не допускается проведение испытаний:

– при наличии посторонних источников шума (включая шум от прохождения по соседнему пути различных видов подвижного состава), помех, в том числе от радиопереговоров и сигналов, а также шумопоглощающих и шумоотражающих объектов, расположенных ближе 50 м от места прохождения испытываемых вагонов;

– при неблагоприятных атмосферных условиях (снегопад, дождь, град).

8 Шум внешних звуковых помех либо различных информационных (полезных) сигналов должен быть на 10 дБА ниже измеряемых уровней.

9 Если при спектральном анализе разность уровней звукового давления в какой-либо октавной и третьоктавной полосе частот составляет менее 10 дБ, то полученные результаты измерений корректируются в соответствии со значениями поправок, приведенных в таблице 5.

Т а б л и ц а 5 – Значения поправок при звуковых помехах и наличии информационных сигналов

Разность уровней звукового давления внутри пассажирского салона при наличии и отсутствии информационного (полезного) сигнала, дБ	Величина, которую следует вычитать из измеренного уровня звукового давления
От 10 и выше	0
” 6 до 9	1
” 4 “ 5	2

Менее 3	3
---------	---

10 Атмосферное давление должно быть 1013 гПа (760 мм рт.ст.), допустимые отклонения $\pm 5\%$, температура окружающего воздуха – от минус 5 до плюс 30 °С, скорость ветра – не более 5 м/с.

11 Место расположения вагона в составе поезда выбирается таким образом, чтобы шум локомотива не оказывал влияния на результаты измерений шума данного вагона. Вагон не должен находиться в конце поезда.

3.2 Обработка результатов измерений

Результаты измерений шума усредняются. Средний уровень звукового давления L_m , дБ, в октавных или 1/3-октавных полосах частот – величина, которая вычисляется следующим образом:

$$L_m = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} - 10 \lg n,$$

где $10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}$ – суммарный уровень звукового давления в дБ;

L_i – i -й из усредняемых уровней звукового давления, дБ.

Если разность между наибольшим и наименьшим уровнями звукового давления не превышает 7 дБ, то средний уровень звукового давления L_m приближенно равен среднему арифметическому значению всех уровней звукового давления L_i :

$$L_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i.$$

Средний уровень звука (в дБА) следует определять по аналогичным формулам. При измерении непостоянных шумов отсчеты уровней звука следует проводить с интервалом от 5 до 6 с.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Экспериментальная часть лабораторной работы включает:

- исследование характеристики спектра шума и особенности восприятия широкополосного шума;
- определение суммарного уровня шума, создаваемого несколькими источниками;
- гигиеническую оценку параметров шума и определение эффективности технических средств защиты.

Для наглядной демонстрации и изучения частотной характеристики шума применяется лабораторная установка, схема которой приведена на рисунке 6.

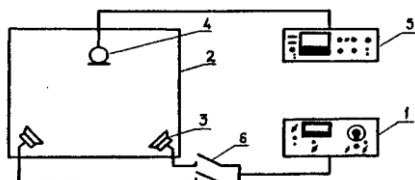


Рисунок 6 – Схема экспериментальной установки

Установка состоит из генератора шума 1, шумовой камеры 2, в которой размещены источники шума (динамики) 3 и микрофон 4, шумомера 5 с октавными фильтрами и трехпозиционного тумблера 6.

При определении суммарного уровня шума двух одинаковых источников

используется частотная характеристика «Лин». Тумблером 6, установленным на лицевой стороне шумовой камеры, включается первый источник шума и измеряется уровень звукового давления. По аналогии измеряется уровень звукового давления от второго источника шума, а затем суммарный уровень при одновременной работе двух источников.

Расчет суммарных уровней звукового давления различных источников производится по формулам (7), (8) и таблице 1.

Сравнивая между собой суммарные уровни, полученные экспериментальным и расчетным путем, делают вывод о сопоставимости результатов.

Для проведения гигиенической оценки параметров шума определяется его спектр на рабочем месте при включенном источнике шума. Затем рассчитываются допустимые уровни звукового давления и уровни звука с учетом характеристики рабочего места и источников шума в соответствии с подразд. 1.5. После заполнения протокола определяется превышение норм. По полученным превышениям выбирается мероприятие в соответствии с приложением и определяется фактическое снижение шума на рабочем месте.

5 ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЕЙ ШУМА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Меры по снижению уровней шума следует предусматривать уже на стадии проектирования генеральных планов промышленных предприятий и планировок помещений в отдельных зданиях.

При расположении промышленных зданий на генплане не допускается размещение объектов, требующих защиты от шума (лабораторно-конструкторских корпусов, вычислительных центров, административных и тому подобных зданий), в непосредственной близости от шумных помещений (испытательных боксов авиационных двигателей, газотурбинных установок компрессорных станций и т. п.). Наиболее шумные объекты рекомендуется компоновать в отдельные комплексы.

При планировке помещений внутри зданий нужно предусматривать максимально возможное удаление тихих и малошумных помещений от производственных помещений с интенсивными источниками шума.

Чтобы уменьшить шум, излучаемый промышленным оборудованием в окружающую атмосферу, рекомендуются следующие мероприятия:

- применение таких материалов и конструкций при проектировании кровли, наружных стен, фонаре остекления (окон), ворот и дверей, которые могут обеспечивать требуемую звукоизоляцию; использование специальных ворот и дверей с требуемой звукоизоляцией, уплотнение по периметру притворов ворот, дверей и окон; звукоизоляция технологических коммуникаций, проходящих через внешние ограждающие конструкции здания;

- устройство специальных звукоизолированных боксов и звукоизолирующих кожухов при размещении шумящего оборудования на территориях промышленных площадок;

- применение экранов, препятствующих распространению звука в атмосфере от оборудования, размещенного на территории промышленной площадки;

- устройство глушителей шума в газодинамических трактах установок, излучающих шум в атмосферу (двигателей внутреннего сгорания, компрессоров, вентиляторов и тому подобных установок); звукоизоляционная облицовка каналов, излучающих шум в атмосферу.

Чтобы уменьшить излучение шума в изолируемое помещение, рекомендуются следующие строительные-акустические мероприятия:

- применение необходимых материалов и конструкций при проектировании перекрытий, стен, перегородок, сплошных и остекленных дверей и окон, кабин наблюдения, обеспечивающих требуемую звукоизолирующую способность; использование специальных дверей и окон наблюдения с требуемой звукоизолирующей способностью;

- применение звукопоглощающей облицовки потолка и стен или штучных звукопоглотителей в изолируемом помещении;

- применение подвесных потолков и плавающего пола, виброизоляции агрегатов, расположенных в том же здании;

- применение звукоизолирующего и вибродемпфирующего покрытий на поверхности трубопроводов, проходящих по помещению, звукоизоляция мест прохода технологических коммуникаций, связывающих шумное и изолируемое помещение;

- использование глушителей шума в системах механической вентиляции и кондиционирования воздуха.

Для уменьшения шума в помещении с источниками его излучения используются следующие строительные-акустические мероприятия:

- кабины наблюдения, дистанционного управления и специальные боксы для наиболее шумного оборудования;
- звукоизолирующие кожухи, акустические экраны и выгородки;
- демпфирующие покрытия на вибрирующие поверхности;
- звукопоглощающие облицовки потолка и стен или штучные звукопоглотители;
- звукоизолированные кабины и зоны отдыха для обслуживающего персонала.

Необходимую звукоизоляцию должны иметь также помещения, организационно принадлежащие к рассматриваемому производственному участку (помещение мастера, кладовые, конторы и т. п.).

Примеры расчета акустической эффективности звукопоглощающих конструкций и акустических экранов приведены в приложении Г.

Содержание отчета и выводы по работе

Отчет по работе должен включать:

- 1) описание методики и расчетные формулы;
- 2) описание приборов и принципа их действия;
- 3) заполненные протоколы по результатам исследований;
- 4) построенные спектры шума:
 - предельный (по СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002);
 - фактические (до применения мероприятий по снижению шума и после).

Выводы по работе должны включать: сопоставление фактических параметров шума с нормативными, выбор мероприятий по снижению шума, оценку эффективности принятых мероприятий.

Контрольные вопросы

- 1 Каков диапазон воспринимаемых человеком звуковых давлений?
- 2 Классификация шума по природе происхождения.
- 3 Средства и методы коллективной защиты от шума.
- 4 Как определяется уровень звукового давления?
- 5 Что такое октавная полоса?
- 6 Что такое порог слышимости и порог болевых ощущений?
- 7 Какое вредное воздействие оказывает шум на организм человека?
- 8 Как осуществляется нормирование постоянного шума?
- 9 Что такое спектр шума?
- 10 Как осуществляется нормирование непостоянного шума?
- 11 Какой используется прибор для измерений уровней шума в данной лабораторной работе?
- 12 Как определяется эквивалентный уровень звука?
- 13 Каким образом с помощью шумомера можно получить спектр шума?

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Граничные, среднегеометрические частоты октавных и третьоктавных полос

Частоты, Гц			
границные		среднегеометрические	
октавных	третьоктавных	октавных	третьоктавных
0,7–1,4	0,7–0,88	1	0,8
	0,88–1,11		1,0
	1,11–1,4		1,25
1,4–2,8	1,4–1,76	2	1,6
	1,76–2,22		2,0
	2,22–2,8		2,5
2,8–5,6	2,8–3,53	4	3,15
	3,53–4,44		4,0
	4,44–5,6		5,0
5,6–11,25	5,6–7,1	8	6,3
	7,1–8,9		8
	8,9–11,25		10
11,25–22,5	11,25–14,2	16	12,5
	14,2–17,9		16
	17,9–22,5		20
22,5–45	22,5–28,35	31,5	25
	28,35–35,72		31,5
	35,72–45		40
45–90	45–56	63	50
	56–71		63
	71–90		80
90–180	90–112	125	100
	112–140		125
	140–180		160
180–355	180–224	250	200
	224–280		250
	280–355		315
355–710	355–450	500	400
	450–560		500
	560–710		630
710–1400	710–900	1000	800
	900–1120		1000
	1120–1400		1250
1400–2800	1400–1800	2000	1600
	1800–2240		2000
	2240–2800		2500
2800–5600	2800–3540	4000	3150
	3540–4500		4000
	4500–5600		5000
5600–11200	5600–7100	8000	6300
	7100–9000		8000
	9000–11200		10000

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Нормирование шума по Санитарным правилам и нормам 2.2.4/2.1.8.10-32-2002 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»

Т а б л и ц а Б.1 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1 Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2 Высоквалифицированная работа, требующая сосредоточенности, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
3 Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами.	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления, без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы Б.1

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровни звука и эквивале нтные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
4 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	
5 Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в пп. 1–4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	
<i>Подвижной состав железнодорожного транспорта</i>											
6 Рабочие места в кабинах машинистов тепловозов, электровозов, поездов метрополитена, дизель-поездов и автомотрис	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	
7 Рабочие места в кабинах машинистов скоростных и пригородных электропоездов	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75	
8 Помещения для персонала вагонов поездов дальнего следования, служебных помещений, рефрижераторных секций, вагонов-электростанций, 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	

Окончание таблицы Б.1

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровни звука и эквивале нтные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
<i>Морские, речные, рыбопромысловые и другие суда</i>											
10 Рабочая зона в помещениях энергетического отделения 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	
11 Рабочие зоны в центральных постах управления (ЦПУ) 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 судов (рулевые, штурманские, багермейстерские рубки, радиорубки и других)	89	75	66	59	54	50	47	45	44	55	
<i>Автобусы, грузовые, легковые и специальные автомобили</i>											
13 Рабочие места водителей и обслуживающего персонала грузовых автомобилей	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70	
14 Рабочие места водителей и обслуживающего персонала (пассажиров) легковых автомобилей и автобусов	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60	
<i>Сельскохозяйственные машины и оборудование, строительно-дорожные, мелиоративные и другие аналогичные виды машин</i>											
15 Рабочие места водителей и обслуживающего персонала тракторов, самоходных шасси, прицепных и навесных сельскохозяйственных машин,	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80	

строительно-дорожных и других аналогичных машин										
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Т а б л и ц а Б.2 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки

Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровни звука L_{A} и эквивалентные уровни звука L_{Aeq} , дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и других учебных заведений, конференц-залы, читательские залы библиотек		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	
Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	С 7 до 23 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	
	С 23 до 7 ч	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	
Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	С 7 до 23 ч	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	
	С 23 до 7 ч	86	71	61	54	49	45	42	40	39	50	
Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

Коэффициенты звукопоглощения строительных и отделочных материалов, конструкций и изделий

Конструкция, материал, изделие	Характеристики материала		Воздушный промежуток, мм	Ревберационный коэффициент звукопоглощения при среднегеометрической частоте октавных полос, Гц									
	Плотность, кг/м ³	Толщина, мм		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Кирпичная кладка: в пустошовку	1600	250	0	0,11	0,13	0,15	0,19	0,21	0,28	0,38	0,46	0,48	
с заделкой швов	1800	250	0	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	
оштукатуренная	1800	250	0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	
окрашенная масляной краской	1800	250	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,025	
Известковая штукатурка по металлической сетке	2000	20	2–5	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	0,06	
Гипсокартонные листы	1000	10	2–5	0,01	0,01	0,02	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	0,06	
Бетон	2400	–	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04	0,045	
Бетон, окрашенный масляной краской	2400	–	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	
Мрамор, гранит шлифованный	2600	–	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	
Штукатурка акустическая: цементно-пемзовая	750	25	0	0,08	0,10	0,12	0,27	0,31	0,31	0,33	0,40	0,4	
цементно-шлаковая	1000	25	0	0,05	0,07	0,08	0,16	0,23	0,30	0,32	0,35	0,37	
гипсопемзовая	650	25	0	0,09	0,10	0,12	0,27	0,31	0,32	0,38	0,40	0,41	
из обожженной каолиновой крошки на цементном вяжущем	1000	25	0	0,09	0,10	0,11	0,13	0,33	0,49	0,29	0,35	0,37	
из тонкогранулированной минеральной ваты на цементном вяжущем	800	25	0	0,16	0,18	0,21	0,29	0,42	0,48	0,47	0,45	0,45	
Пол дощатый: на деревянных балках	600	40	150	0,16	0,15	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,06	0,06	
на лагах	600	40	50	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,09	0,09	
паркетный (по асфальту)	600	20	0	0,02	0,03	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,7	

Продолжение приложения В

Конструкция, материал, изделие	Характеристики материала		Воздушный промежуток, мм	Ревберационный коэффициент звукопоглощения при среднегеометрической частоте октавных полос, Гц								
	Плотность, кг/м ³	Толщина, мм		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Линолеум по твердому основанию	1900	3–5	0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Ковер:												
шерстяной (по бетону)	–	9	0	0,10	0,10	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,27	0,28
с полusherстяным ворсом (по бетону)	–	8	0	0,10	0,10	0,02	0,05	0,26	0,47	0,57	0,70	0,75
на латексной основе (по бетону)	–	4	0	0,01	0,01	0,01	0,04	0,15	0,31	0,63	0,72	0,74
толщиной 0,4 см с ворсом (по бетону)	–	–	0	0,1	0,09	0,09	0,08	0,21	0,27	0,27	0,37	0,4
толщиной 0,3 см на войлочной основе (по бетону)	–	–	0	0,10	0,10	0,11	0,14	0,37	0,43	0,27	0,25	0,24
Занавес из тарной ткани: у стены	–	–	50	0,01	0,02	0,02	0,07	0,19	0,42	0,48	0,30	0,28
в сборку (2:1)	–	–	50	0,10	0,10	0,10	0,28	0,46	0,60	0,58	0,60	0,62
Занавес из репса на шелковой подкладке	–	–	50	0,01	0,01	0,02	0,09	0,38	0,68	0,66	0,60	0,62
	–	–	100	0,01	0,03	0,04	0,16	0,48	0,68	0,56	0,56	0,58
	–	–	500	0,06	0,08	0,09	0,28	0,40	0,55	0,64	0,66	0,66
	–	–	1000	0,10	0,12	0,13	0,29	0,41	0,62	0,66	0,68	0,69
Ткань, свободно висящая, в виде драпировки с массой 1 м ² : 0,5 кг	–	–	–	0,01	0,02	0,04	0,07	0,13	0,22	0,33	0,35	0,37
0,5 кг, драпирующая 7/8 площади	–	–	–	0,01	0,02	0,03	0,12	0,15	0,27	0,37	0,42	0,42
0,5 кг, ” 3/4 ”	–	–	–	0,01	0,02	0,04	0,23	0,40	0,57	0,53	0,40	0,39
0,5 кг, ” 1/2 ”	–	–	–	0,02	0,05	0,07	0,37	0,49	0,81	0,66	0,54	0,52
Бархат, соприкасающийся со стенкой, масса 1 м ² – 0,65 кг	–	–	–	0,02	0,04	0,05	0,12	0,35	0,45	0,38	0,36	0,34
Бархат, на расстоянии от стены 100 мм	–	–	–	0,02	0,05	0,06	0,28	0,44	0,50	0,40	0,35	0,34
Плиты минераловатные на синтетическом связующем (ГОСТ 9573)	75	50	–	0,01	0,05	0,14	0,52	0,90	0,99	0,92	0,82	0,77
	75	100	–	0,12	0,16	0,50	0,92	0,98	0,95	0,91	0,80	0,76
	100	100	–	0,13	0,16	0,62	0,97	0,98	0,97	0,94	0,81	0,75

Деревянные рейки: шириной 20 мм, высотой 100 мм, уложены с шагом 70 мм поверх поливинилхлоридного войлока	110	11	–	0,15	0,18	0,24	0,52	0,73	0,81	0,88	0,96	0,94
шириной 100 мм, высотой 20 мм, уложены с шагом 25 мм поверх поливинилхлоридного войлока	110	11	–	0,16	0,19	0,21	0,48	0,89	0,69	0,6	0,56	0,52
Деревянные рейки шириной 20 мм, высотой H , уложены с шагом t поверх минераловатных плит ($\rho = 100 \text{ кг/м}^3$), покрытых стеклотканью ЭЗ/1-100ПМ-20: $H = 50 \text{ мм}, t = 25 \text{ мм}$	100	50	0,26	0,42	0,54	0,76	0,73	0,85	0,91	0,86	0,78	0,94
$H = 100 \text{ мм}, t = 70 \text{ мм}$	100	50	0,31	0,48	0,61	0,84	0,90	0,85	0,85	0,87	0,88	0,92
$H = 200 \text{ мм}, t = 25 \text{ мм}$	100	50	0,47	0,54	0,79	0,87	0,92	0,90	1,00	1,02	0,98	0,96
$H = 200 \text{ мм}, t = 70 \text{ мм}$	100	50	0,39	0,51	0,75	0,93	0,91	0,90	1,00	1,03	1,02	1,00
Деревянные рейки шириной 20 мм, высотой H , уложены под углом 45° с шагом t поверх слоя минераловатных плит, покрытых стеклотканью ЭЗ/1-100ПМ-20: $H = 50 \text{ мм}, t = 12 \text{ мм}$	100	50	–	0,25	0,31	0,39	0,67	0,96	0,8	0,77	0,96	0,97
$H = 50 \text{ мм}, t = 12 \text{ мм}$	100	50	–	0,22	0,29	0,33	0,79	0,83	0,75	0,76	0,84	0,82
$H = 100 \text{ мм}, t = 12 \text{ мм}$	100	50	–	0,28	0,37	0,51	0,93	0,78	0,65	1,00	1,00	1,01
$H = 200 \text{ мм}, t = 43 \text{ мм}$	100	50	–	0,27	0,30	0,31	0,74	0,83	0,86	0,83	0,84	0,85
Деревянные рейки высотой 20 мм, шириной B , уложены с шагом t поверх минераловатных плит, покрытых стеклотканью ЭЗ/1-100ПМ-20: $B = 50 \text{ мм}, t = 25 \text{ мм}$	100	50	–	0,08	0,012	0,14	0,48	0,84	0,66	0,56	0,65	0,66
$B = 50 \text{ мм}, t = 50 \text{ мм}$	100	50	–	0,09	0,12	0,16	0,51	0,79	0,75	0,72	0,75	0,76
$B = 100 \text{ мм}, t = 25 \text{ мм}$	100	50	–	0,12	0,28	0,40	0,66	0,91	0,58	0,48	0,64	0,65
$B = 100 \text{ мм}, t = 50 \text{ мм}$	100	50	–	0,012	0,26	0,37	0,79	0,86	0,71	0,57	0,65	0,65

Окончание приложения В

Конструкция, материал, изделие	Характеристика материала		Воздушный промежуток, мм	Реверберационный коэффициент звукопоглощения при среднегеометрической частоте октавных полос, Гц								
	Плотность, кг/м ³	Толщина, мм		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Деревянные рейки шириной 25 мм, высотой 12 мм, уложены с шагом 20 мм поверх минераловатных плит, покрытых стеклотканью ЭЗ/1-100ПМ-20	100	100	–	0,1	0,25	0,4	0,7	0,8	0,8	0,75	0,65	0,62
Панели из фанеры толщиной:												
3 мм ($\rho = 600 \text{ кг/м}^3$)	–	–	100	0,2	0,28	0,32	0,35	0,19	0,13	0,11	0,1	0,08
4–6 мм ($\rho = 600 \text{ кг/м}^3$)	–	–	50	0,14	0,15	0,17	0,26	0,14	0,10	0,09	0,04	0,03
10 мм	–	–	100	0,20	0,35	0,41	0,15	0,12	0,10	0,09	0,06	0,04
10 мм, с заполнением промежутка минераловатными плитами ПЛ-75	75	50	–	0,35	0,48	0,55	0,39	0,15	0,12	0,11	0,10	0,08
	75	100	–	0,22	0,42	0,47	0,28	0,18	0,14	0,13	0,12	0,11
8–10 мм ($\rho = 600 \text{ кг/м}^3$)	–	–	50	0,08	0,11	0,13	0,28	0,17	0,14	0,03	0,09	0,09
	–	–	100	0,22	0,32	0,34	0,19	0,09	0,10	0,09	0,10	0,11
	–	–	150	0,25	0,32	0,37	0,18	0,10	0,10	0,05	0,08	0,09
	–	–	200	0,16	0,28	0,35	0,16	0,10	0,08	0,04	0,10	0,10
8–10 мм ($\rho = 600 \text{ кг/м}^3$), с заполнением плитами ПЛ-75	75	50	–	0,22	0,38	0,44	0,45	0,22	0,12	0,04	0,10	0,10
	75	100	–	0,28	0,45	0,53	0,35	0,21	0,12	0,06	0,12	0,11
Панели из ДСП, оклеенные пластиком	–	–	50	0,15	0,18	0,23	0,15	0,07	0,10	0,09	0,09	0,08
	–	–	100	0,20	0,25	0,29	0,12	0,10	0,08	0,11	0,06	0,06
Панели столярные толщиной 10 мм ($\rho = 600 \text{ кг/м}^3$), отделанные шпоном	–	–	100	0,12	0,19	0,25	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
Панели из древесностружечных плит (ДСП) толщиной 20 мм ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$): вплотную к ограждению	–	–	–	0,01	0,01	0,01	0,09	0,09	0,08	0,09	0,14	0,14

вплотную к ограждению, с воздушным промежутком (до ограждения)	–	–	50	0,12	0,24	0,32	0,13	0,05	0,05	0,06	0,14	0,15
	–	–	100	0,10	0,22	0,27	0,08	0,04	0,02	0,08	0,13	0,14
	–	–	150	0,05	0,08	0,1	0,03	0,02	0,03	0,09	0,10	0,11
вплотную к ограждению, с воздушным промежутком (до ограждения), с заполнением плитами ПЛ-75	–	–	200	0,06	0,10	0,12	0,05	0,05	0,03	0,09	0,10	0,12
	75	50	–	0,10	0,18	0,32	0,14	0,07	0,04	0,08	0,13	0,12
	75	50	–	0,08	0,16	0,28	0,17	0,16	0,11	0,08	0,12	0,13
Панели из твердой древесноволокнистой плиты (ДВП) толщиной 4 мм ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$)	75	100	–	0,12	0,20	0,34	0,28	0,22	0,11	0,11	0,12	0,11
	–	–	100	0,2	0,4	0,5	0,16	0,08	0,05	0,04	0,08	0,07
То же, с заполнением стекловолокном	50	50	50	0,20	0,40	0,48	0,25	0,15	0,07	0,10	0,11	0,10
Панели из гипсокартонных листов толщиной 12,5 мм ($\rho = 850 \text{ кг/м}^3$)	–	–	–	0,01	0,02	0,02	0,05	0,06	0,08	0,05	0,05	0,05
	–	–	50	0,10	0,06	0,23	0,31	0,13	0,09	0,06	0,13	0,13
	–	–	100	0,23	0,34	0,41	0,20	0,15	0,06	0,05	0,02	0,01
Панели из гипсокартонных листов толщиной 12,5 мм ($\rho = 850 \text{ кг/м}^3$): с заполнением плитами ПЛ-75	75	50	–	0,68	0,64	0,56	0,42	0,24	0,11	0,04	0,04	0,02
	75	100	–	0,86	0,73	0,65	0,34	0,23	0,17	0,11	0,11	0,10
обтянутые декоративной тканью	–	–	50	0,51	0,43	0,32	0,10	0,09	0,1	0,23	0,25	0,27
	–	–	100	0,40	0,34	0,25	0,16	0,12	0,14	0,16	0,22	0,24
обтянутые декоративной тканью, с заполнением плитами ПЛ-75	75	50	–	0,46	0,38	0,27	0,14	0,10	0,12	0,16	0,22	0,24
	75	100	–	0,37	0,32	0,29	0,25	0,19	0,14	0,18	0,24	0,28
	75	50	500	0,49	0,41	0,30	0,19	0,14	0,19	0,25	0,26	0,27
Панели из листов дюралюминия толщиной 2 мм ($\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$)	–	–	50	0,16	0,09	0,12	0,37	0,12	0,08	–	–	–
	–	–	100	0,45	0,37	0,30	0,22	0,10	0,08	–	–	–
	–	–	150	0,79	0,62	0,50	0,16	0,02	–	–	–	–
То же, с заполнением плитами ПЛ-75	75	50	–	0,52	0,48	0,40	0,34	0,16	0,08	0,02	–	–
Панели из бумажнослоистого пластика толщиной 2–3 мм ($\rho = 1500 \text{ кг/м}^3$)	–	–	50	0,11	0,06	0,02	0,27	0,12	0,05	–	–	–
	–	–	100	0,38	0,32	0,26	0,20	0,12	0,07	–	–	–
	–	–	150	0,62	0,51	0,41	0,23	0,08	0,02	–	–	–
То же, с заполнением плитами ПЛ-75	75	100	–	0,86	0,82	0,76	0,47	0,29	0,14	0,02	–	–
Панели из древесноволокнистых плит толщиной 12 мм	–	–	–	0,02	0,03	0,06	0,15	0,28	0,30	0,33	0,31	0,29
	–	–	50	0,15	0,18	0,22	0,30	0,34	0,32	0,41	0,42	0,44

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

Примеры решения задач по оценке и снижению уровней шума

Пример 1. С целью снижения уровней шума, создаваемого производственным оборудованием, ограждающие конструкции помещения облицованы звукопоглощающими конструкциями. Необходимо выполнить расчет акустической эффективности такой облицовки и величину снижения уровней шума в помещении.

Характеристика строительных конструкций производственного помещения:

- пол – бетонный;
- потолок – из сосновых досок;
- стены – кирпичные, оштукатуренные и окрашенные клеевой краской.

Высота помещения – 3,5 м.

Для снижения уровней шума нижняя половина поверхностей стен облицовывается древесно-волоконными плитами, а верхняя половина стен и потолок – акустическими плитами с наполнителем.

Решение. 1 Решение выполним в табличной форме. Определяем коэффициенты звукопоглощения α для среднегеометрических частот октавных полос (приложение В) и заносим полученные данные в таблицу Г.1.

Т а б л и ц а Г.1 – Характеристики ограждающих конструкций помещения

Конструкция и материал	Площадь $S, \text{м}^2$	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Коэффициент звукопоглощения α										
Пол бетонный	180	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Потолок из сосновых досок	180	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,07	0,10
Стены кирпичные, оштукатуренные и окрашенные	144	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
Окна	44	0,35	0,35	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,03
Двери	8	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,07	0,10
Плиты для облицовки нижней половины стен	72	0,20	0,20	0,22	0,30	0,34	0,32	0,41	0,42	0,42
Акустические плиты для облицовки верхней половины стен и потолка:										
стены	72	0,08	0,08	0,15	0,42	0,99	0,75	0,67	0,41	0,33
потолок	180	0,08	0,08	0,15	0,42	0,99	0,75	0,67	0,41	0,33

2 Для октавных полос звукопоглощение отдельных элементов облицовок и общее звукопоглощение в производственном помещении до облицовки определяем умножением коэффициентов звукопоглощения α_i на площади ограждающих конструкций S_i :

$$A_1 = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$$

3 С учетом коэффициентов звукопоглощения для выбранных звукопоглощающих облицовок аналогично предыдущему пункту определяем общее звукопоглощение для октавных полос частот A_1 и общее звукопоглощение после облицовки A_2 . Результаты расчетов A_1 и A_2 представлены в таблице Г.2.

Т а б л и ц а Г.2 – **Расчет звукопоглощения в производственном помещении**

Конструкция и материал	Площадь $S_i, \text{м}^2$	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<i>Звукопоглощение до облицовки A_1</i>										
Пол бетонный	180	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	3,6	3,6	3,6	3,6
Потолок из досок	180	18	18	18	18	18	14,4	14,4	12,6	18,0
Стены кирпичные, оштукатуренные и окрашенные	144	1,4	1,4	2,8	2,8	2,8	4,3	5,8	5,8	5,8
Окна	44	15,4	15,4	15,4	11,0	7,9	5,3	3,3	1,8	1,3
Двери	8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8
Общее звукопоглощение $A_1 = \sum \alpha_1 S_1$		37,4	37,4	38,9	34,5	31,4	28,2	27,7	24,4	29,5
<i>Звукопоглощение после облицовки A_2</i>										
Пол бетонный	180	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	3,6	3,6	3,6	3,6
Потолок, облицованный акустическими плитами	180	14,4	14,4	27,0	75,6	178,2	135,0	121,0	73,7	59,5
Стены, облицованные древесноволокнистыми плитами	72	14,4	14,4	15,8	21,6	24,5	23,0	29,5	30,2	30,2
Стены, облицованные акустическими плитами	72	5,8	5,8	10,8	30,2	71,3	54,0	48,2	29,4	23,8
Окна	44	15,4	15,4	15,4	11,0	7,9	5,3	3,3	1,8	1,3
Двери	8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8
Общее звукопоглощение $A_2 = \sum \alpha_2 S_2$		52,6	52,6	71,6	141,0	284,5	221,5	206,2	140,3	119,2

4 Определяем снижение уровней шума, дБ, для всех октавных полос:

$$\text{СШ} = 10 \lg \frac{A_2}{A_1}$$

Например, величина снижения уровня шума на частоте 1000 Гц

$$\text{СШ}_{1000} = 10 \lg \frac{221,5}{28,2} = 10 \lg 7,9 \approx 9 \text{ дБ}.$$

Результаты расчетов представлены в таблице Г.3.

5 Определяем спектр шума после применения звукопоглощения (по разнице значений уровней шума на среднегеометрических частотах до облицовки и снижения уровней шума).

6 Пользуясь данными таблицы Б.1, определяем нормативные значения уровней шума на среднегеометрических частотах с учетом характера выполняемой работы и заносим их в таблицу Г.3.

7 Определяем, есть ли превышение расчетных уровней шума, дБ, на среднегеометрических частотах над нормативными значениями, и результаты заносим в таблицу Г.3.

Т а б л и ц а Г.3 – **Расчет снижения уровней шума**

Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Спектр шума в помещении, дБ	71	74	86	92	104	106	100	90	80
Снижение уровней шума за счет звукопоглощения	1	1	3	6	9	9	9	8	6
Спектр шума после звукопоглощающей облицовки	70	73	83	86	95	97	91	82	74
Нормируемые значения уровней шума	107	95	87	82	78	75	73	71	69
Превышение нормативных уровней после облицовки	–	–	–	4	17	22	18	11	5

8 Выполненные расчеты показали, что снижение уровней шума на различных частотах неодинаково. Вместе с тем необходимо отметить, что снижение шума за счет звукопоглощающей облицовки стен и потолка в производственном помещении оказалось недостаточным для доведения уровней шума до нормативных значений на среднегеометрических частотах 250–8000 Гц. Необходимо в данном случае разработать и внедрить дополнительные инженерные решения по снижению уровней шума (например, по применению звукоизоляции наиболее шумного производственного оборудования, замене его на менее шумное оборудование и др.). Более подробные рекомендации по снижению уровней шума приведены в литературе [1, 4, 7, 8].

Пример 2. Определить уровни шума, создаваемые транспортным потоком, в жилом районе экранированным инженерным сооружением.

Исходные данные:

- расстояние от экрана, м: до источника шума – $a = 8$; жилого массива – $b = 25$;
- высота от поверхности земли, м: до источника шума – $h = 2,5$; окон здания – $h_2 = 5,5$; экрана – $H = 6$;
- уровни звукового давления, создаваемые источником на среднегеометрических частотах, $L_{\text{ист}}$, дБ:

Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц
------------	---

	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровни звукового давления, $L_{ист}$, дБ	91	92	93	87	84	85	82	77	72

Решение. 1 Согласно исходным данным на рисунке Г.1 приведена схема для расчета эффективности экрана.

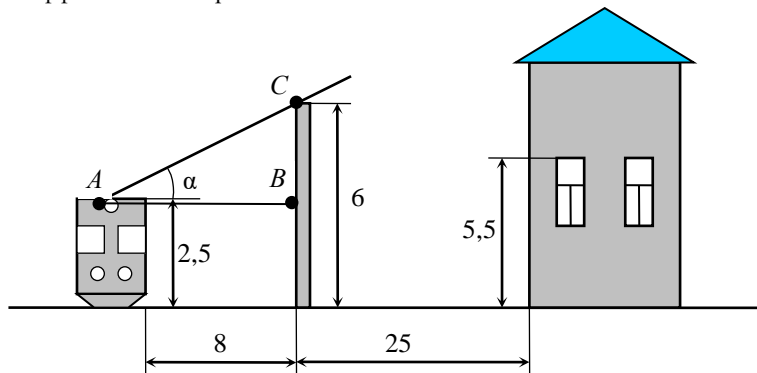


Рисунок Г.1 – Схема для расчета акустической эффективности экрана

2 Определяем значение $\cos\alpha$ согласно расчетной схеме (прямоугольный треугольник), используя тригонометрические функции:

$$BC = H - h = 6 - 2,5 = 3,5 \text{ м};$$

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2}, \quad AB = a = 8 \text{ м};$$

$$AC = \sqrt{8^2 + 3,5^2} = 8,7321 \approx 8,73 \text{ м};$$

$$\cos\alpha = AB / AC = 8 / 8,7 = 0,916.$$

3 Вычисляем значение функции W на среднегеометрических частотах

$$W = \left(H + \frac{b(H-h)}{a} - K \right) \sqrt{\frac{2a \cos\alpha}{\lambda b(a+b)}},$$

где H – высота экрана, м;

b – расстояние от экрана до здания, м;

h – высота источника шума, м;

a – расстояние от источника шума до экрана, м;

K – высота от поверхности земли до окон здания, м;

α – угол прохода звуковой волны от источника над экраном, град;

λ – длина волны, м;

$$W_{31,5} = \left(6 + \frac{25(6-2,5)}{8} - 5,5 \right) \sqrt{\frac{2 \cdot 8 \cdot 0,916}{10,8 \cdot 25 \cdot (8+25)}} = 0,464 \approx 0,46.$$

По графику (рисунок 74 [1]) определяем величину снижения шума экраном $L_{эк} = 10$ дБ. Аналогичные расчеты выполнены для других среднегеометрических частот, результаты которых сведены в таблицу Г.4.

4 Рассчитываем снижение шума за счет расстояния и поглощения в воздухе

$L_{расст}$, дБ, на среднегеометрических частотах:

$$L_{расст} = 20 \lg(a + b) + \Delta + 8,$$

где Δ – величина затухания шума за счет поглощения звуковых колебаний в воздушной среде, дБ,

$$\Delta = 6 \cdot 10^{-6} f(a + b),$$

f – частота звуковых колебаний (среднегеометрические частоты), Гц;

$$L_{расст(31,5)} = 20 \lg(8 + 25) + 6 \cdot 10^{-6} \cdot 31,5 \cdot (8 + 25) + 8 = 38,37 \approx 38 \text{ дБ}.$$

Результаты расчетов для других среднегеометрических частот сведены в таблицу Г.4.

5 Вычисляем уровни шума в районе административно-технического здания на среднегеометрических частотах:

$$L_{р.т} = L_{ист} - L_{эк} - L_{расст},$$

где $L_{ист}$ – уровень шума, создаваемый источником на среднегеометрической октавной частоте, дБ.

Для среднегеометрической частоты 31,5 Гц уровень шума в расчетной точке

$$L_{р.т(31,5)} = 91 - 10 - 38 = 43 \text{ дБ}.$$

Результаты расчетов для других среднегеометрических частот приведены в таблице Г.4.

6 По СанПиН 2.2.4/2.1.8.10–32–2002 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» устанавливаем предельно допустимые уровни шума в районе административно-технического здания на основании данных (таблица 2 [9] или таблица Б.2.) и вносим в таблицу Г.4.

Т а б л и ц а Г.4 – Расчет снижения уровней шума

Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления источника $L_{ист}$, дБ	91	98	93	87	84	85	82	77	72
Длина волны $\lambda = c / f$, м	10,8	5,4	2,72	1,36	0,68	0,34	0,17	0,085	0,043
Значение функции W	0,46	0,66	0,92	1,31	1,85	2,61	3,70	5,23	7,35
Снижение шума экраном $L_{эк}$, дБ	10	12	13	15	17	20	24	27	32
Снижение шума за счет расстояния и поглощения в воздухе $L_{расст}$, дБ	38	38	38	38	38	39	39	39	40
Уровень шума в расчетной точке $L_{р.т}$, дБ	43	48	42	34	29	26	19	11	–
Предельно допустимый уровень шума, дБ	83	67	57	49	44	40	37	35	33
Превышение норм, дБ	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Расчеты показали, что уровни шума в районе жилого массива не превышают нормативных значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Бобин, Е.В.** Борьба с шумом и вибрациями на железнодорожном транспорте / Е.В. Бобин. – М. : Транспорт, 1973. – 302 с.
- 2 Борьба с шумом на производстве / В.Я. Юдин [и др.]; под общ. ред. В.Я. Юдина. – М. : Машиностроение, 1985. – 400 с.
- 3 **Иванов, Н.И.** Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах / Н.И. Иванов. – М. : Транспорт, 1979. – 272 с.
- 4 **Карагодина, И. Л.** Борьба с шумом в городах / И. Л. Карагодина, Г. Л. Осипов, И. А. Шишкин. – М. : Медицина, 1972. – 158 с.
- 5 Охрана труда на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / под ред. Ю.Г. Сибарова. – М. : Транспорт, 1981. – 287 с.
- 6 Охрана труда в машиностроении : учеб. для машиностроительных вузов / под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.
- 7 **Осипов, Б. Л.** Градостроительные меры борьбы с шумом / Б. Л. Осипов. – М. : Стройиздат, 1975. – 215 с.
- 8 Рекомендации по расчету и проектированию звукопоглощающих облицовок. – М. : Стройиздат, 1984. – 55 с.
- 9 **СанПиН № 2.2.4/2.1.8.10-32-2002.** Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки : утв. постановлением Главного гос. санитарного врача Респ. Беларусь от 31 дек. 2002 г. № 158, с изм. и доп., утв. постановлением Главного гос. санитарного врача Респ. Беларусь от 12 дек. 2005 г. № 220.
- 10 **СанПиН № 2.2.4/2.1.8.10-35-2002.** Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки : утв. постановлением Главного гос. санитарного врача Респ. Беларусь от 31 дек. 2002 г. № 161, с изм. и доп., утв. постановлением Главного гос. санитарного врача Респ. Беларусь от 23 авг. 2005 г. № 118.
- 11 **СанПиН № 9-87-98.** Ультразвук, передающийся воздушным путем. Предельно допустимые уровни на рабочих местах : утв. постановлением Главного гос. санитарного врача Респ. Беларусь от 31 дек. 1998 г. № 53.
- 12 **СанПиН № 9-87-98.** Ультразвук, передающийся контактным путем. Предельно допустимые уровни на рабочих местах : утв. постановлением Главного гос. санитарного врача Респ. Беларусь от 31 дек. 1998 г. № 53.
- 13 Справочник проектировщика. Защита от шума / под ред. Е.Я. Юдина. – М. : Стройиздат, 1974. – 134 с.
- 14 **ТКП 45-2.04-154-2009.** Защита от шума. Строительные нормы проектирования. – Минск, 2010. – 39 с.
- 15 **ТКП 45-2.04-127-2009.** Конструкции зданий и сооружений. Правила проектирования звукоизоляции и звукопоглощения. – Минск, 2010. – 80 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Основные положения	3
1.1 Общие сведения	3
1.2 Требования безопасности при выполнении лабораторной работы	5
1.3 Характеристика и основные параметры шума	6
1.4 Инфразвук и ультразвук	11
1.5 Определение суммарного уровня звукового давления, создаваемого несколькими источниками	14
1.6 Определение среднего уровня звука и средних октавных уровней звукового давления при постоянном шуме	16
1.7 Расчет ожидаемого уровня шума и требуемой эффективности мероприятий по шумоглушению	17
1.8 Нормирование шума	22
2 Аппаратура, применяемая для исследования шума	24
2.1 Общие характеристики акустических средств измерений	24
2.2 Шумомер-анализатор спектра ОКТАВА-101А	27
2.3 Точный импульсный шумомер 00024	28
2.4 Точный импульсный шумомер 00017	29
2.5 Четырехканальный шумомер, виброметр, анализатор спектра SVAN-958	31
2.6 Четырехканальный шумомер, виброметр, анализатор спектра SVAN-959	33
2.7 Измеритель шума ВШ-2000	34
2.8 Измеритель шума и вибрации ВШВ-003-М3	35
2.9 Анализатор спектра прецизионный интегрирующий модели 2800	37
2.10 Шумомер модульный прецизионный модели 2231	38
2.11 Шумомер интегрирующий LA-5560	39
3 Измерение шума на рабочих местах	41
3.1 Порядок проведения замеров уровней звукового давления и уровней звука	41
3.2 Обработка результатов измерений	44
4 Порядок выполнения работы	44
5 Инженерные решения по снижению уровней шума в производственных помещениях	45
<i>Приложение А</i> Граничные, среднегеометрические частоты октавных и третьоктавных полос	48
<i>Приложение Б</i> Нормирование шума по Санитарным правилам и нормам 2.2.4/2.1.8.10-32-2002 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»	49
<i>Приложение В</i> Коэффициенты звукопоглощения строительных и отделочных материалов, конструкций и изделий	51
<i>Приложение Г</i> Примеры решения задач по оценке и снижению уровней шума	61
Список литературы	66

Учебное издание

ШАТИЛО Сергей Николаевич
ДОРОШКО Сергей Владимирович
КАРПЕНКО Валерий Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА

Учебно-методическое пособие

Редактор **И. И. Э в е н т о в**
Технический редактор **В. Н. К у ч е р о в а**
Корректор **Т. А. П у г а ч**
Компьютерный набор и верстка **Н. А. Ч е р н ы ш о в а**

Подписано в печать 21.10.2011 г. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 4,53. Тираж 870 экз.
Зак. № Изд. № 60

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:
ЛИ № 02330 / 0552508 от 09.07.2009 г.
ЛП № 02330 / 0494150 от 03.04.2009 г.
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.