

ЛЕКЦИЯ 6

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ШУМ И ВИБРАЦИЯ

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности, которые неблагоприятно воздействуют на организм человека, мешают работе и отдыху.

Звук как физический процесс представляет собой волновое движение упругой среды. Механические колебания упругой среды (газ, жидкость, твёрдое тело) с частотами 20 - 20000 Гц воспринимается слуховым аппаратом человека в виде звука. Колебания с частотой ниже 20 Гц (инфразвуковые) и выше 20000 Гц (ультразвуковые) не вызывают слуховых ощущений, но оказывают вредное биологическое воздействие на организм.

Основными физическими характеристиками звука являются: звуковое давление p , Па, интенсивность звука I , Вт/м², частота колебаний f , Гц и колебательная скорость V , м/с.

Звуковое давление – переменная составляющая давления воздуха, возникающая вследствие колебания источника звука, накладываемая на атмосферное давление. Количественная оценка звукового давления оценивается среднеквадратичным значением. При распространении звуковых волн имеет место перенос звуковой энергии, величина которой определяется интенсивностью звука.

Интенсивность звука – звуковая мощность на единицу площади, передаваемая в направлении распространения звуковой волны. Интенсивность звука связана со звуковым давлением выражением:

$$I = V \cdot p ,$$

где p – среднеквадратичное звуковое давление, Па;

V – колебательная скорость частиц в звуковой волне, м/с;

В свободном звуковом поле интенсивность звука может быть выражена формулой:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} ,$$

где ρ – плотность среды, кг/м³; c – скорость звука, м/с.

Произведение $\rho \cdot c$ называется удельным акустическим сопротивлением среды (Па·с/м).

Чувствительность слухового аппарата человека к звукам разных частот не одинакова; она наибольшая при частотах 2000-5000 Гц. За эталонный принят звук частотой 1000 Гц. Минимальное звуковое давление и минимальная интенсивность звуков, едва различимых слуховым аппаратом человека, называются **порогом слышимости**. При частоте 1000 Гц порог слышимости по интенсивности составляет $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², а по звуковому

давлению $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па. При звуковом давлении $2 \cdot 10^2$ Па и интенсивности звука 10 Вт/м^2 возникают болевые ощущения (болевого порог).

Между порогом слышимости и болевым порогом лежит **область слышимости**. Разница между болевым порогом и порогом слышимости очень велика. Чтобы не оперировать большими числами, учёный А.Г. Белл предложил использовать логарифмическую шкалу. Логарифмическая величина, характеризующая интенсивность шума или звука, получила название уровня интенсивности L шума или звука, которая измеряется в белах (Б):

$$L = \lg \cdot I / I_0,$$

где I - интенсивность звука в данной точке;

I_0 - интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости.

Так как интенсивность звука пропорционально квадрату звукового давления, то для уровня звукового давления можно записать:

$$L_p = \lg \cdot I^2 / p_0^2 = 2 \lg \cdot I / p_0.$$

Ухо человека реагирует на величину в 10 раз меньшую, чем бел, поэтому распространение получила единица (дБ), равная 0,1 Б, тогда:

$$L_p = 20 \lg \cdot I / p_0.$$

Измерение уровней звукового давления в дБ удобно ещё и потому, что очень большой диапазон слышимых звуков укладывается всего в пределах от 0 до 140 дБ. Следует отметить, что изменение уровня звукового давления на 1 дБ практически не заметно на слух.

Уровнями интенсивности шума обычно оперируют при выполнении акустических расчётов, а уровнями звукового давления – при измерении шума и оценки его воздействия на человека, так как наш орган слуха чувствителен не к интенсивности звука, а к среднеквадратичному давлению.

Спектры шумов

Каждый источник шума может быть представлен составляющими его тонами в виде зависимостей уровней звукового давления от частоты (частотный спектр шума или просто спектр). Спектры шумов могут быть: а) линейчатыми (дискретными), б) сплошными и в) смешанными. (рис. 1). Большинство источников шума на предприятиях имеют смешанный или сплошной спектр.

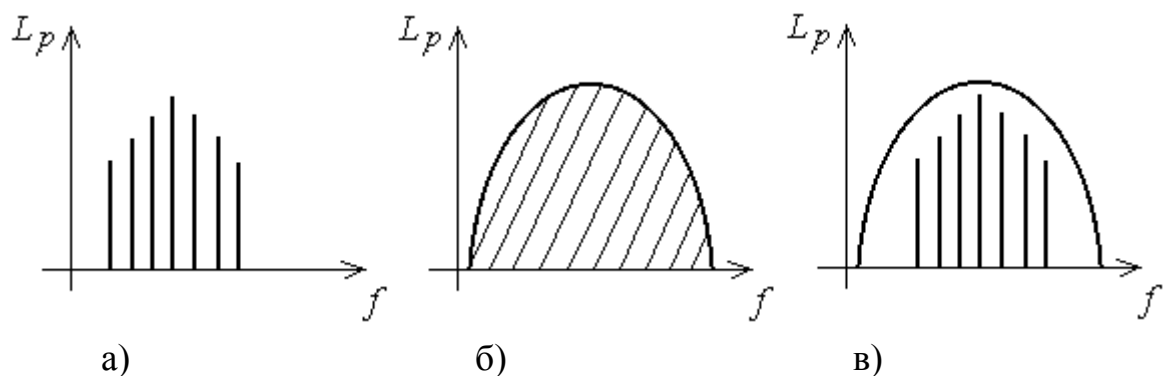


Рис. 1. Спектр шумов

При измерении и анализе шумов, а также при проведении акустических расчётов весь диапазон частот разбивают на полосы частот определённой ширины. Полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты f_2 к нижней f_1 равно двум ($f_2 / f_1 = 2$), называется октавой. Если $f_2 / f_1 = \sqrt[10]{2} = 1,26$, то ширина полосы равна 1/3 октавы. Для гигиенических целей шумы используют обычно в октавных, а для технических целей – в 1/3 – октавных полосах частот.

Характеристикой каждой полосы частот является среднегеометрическая частота f_{cp} , которая для октавы вычисляется по выражению:

$$f_{cp} = \sqrt[10]{f_1 \cdot f_2},$$

а для 1/3 октавы по выражению:

$$f_{cp} = \sqrt[3]{f_1}.$$

Шумы бывают широкополосными и тональными. Широкополосные шумы имеют непрерывный спектр шириной более одной октавы, а в спектре тональных шумов слышатся отдельные тона.

По временным характеристикам шумы делятся на постоянные и непостоянные. Постоянным считается такой шум, уровень звука которого за 8 - часовой рабочий день изменяется во времени не более чем на 5 дБ. Непостоянные шумы, уровень звука которых за 8 - часовой рабочий день изменяется более чем на 5 дБ, в свою очередь делятся на колеблющиеся во времени, прерывистые и импульсные (состоящие из сигналов длительностью менее 1 с).

Источниками шума на энергетических предприятиях является прежде всего оборудование ТЭС. Наибольший шум создается оборудованием котельно-турбинных цехов (> 100 дБ), значительный шум (95 - 97 дБ) наблюдается в топливно-транспортных цехах, в помещениях закрытых распределительных устройств. Шум возникает также при срабатывании аварийного клапана, выбросе пара в атмосферу и т.д.

Некоторые данные по шуму

3-20 дБ – практически безвредно для человека, это естественный шумовой фон;

70 дБ – громкая речь;

80 дБ – допустимая граница звуков на производстве по шкале «А» шумомера;

80-100 дБ – шум мотоцикла, автобуса, грузовика;

95 дБ – токарный станок при точении;

130 дБ – вызывает у человека болевые ощущения;

195 дБ – вырывает заклёпки из металла.

При совместном воздействии двух источников шума с различными уровнями интенсивности L_1 и L_2 суммарный уровень интенсивности шума:

$$L = L_1 \Delta l, \text{ дБ,}$$

где L_1 – больший из двух суммированных уровней шума;

Δl – поправка, определяемая по таблице 1.

Таблица 1.

Поправки по шуму

Разность уровней шума двух источников $L_1 - L_2$, дБ	0	1	2,5	4	6	8	10
Δl , дБ	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0

Уровень интенсивности звука на расстоянии от источника шума можно определить по формуле:

$$L = L_{\text{ист}} - 20 \lg l - 8,$$

где $L_{\text{ист}}$ – уровень интенсивности звука источника шума, дБ;

L – уровень интенсивности звука на расстоянии l от источника шума, дБ;

l – расстояний до источника, м.

Действие шума на организм человека и нормирование шума

Многочисленными исследованиями установлено, что шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на все органы и системы организма человека.

Наиболее полно изучено влияние шума на слуховой орган человека. Интенсивный шум при ежедневном воздействии приводит к возникновению профессионального заболевания – тугоухости; основным симптомом

которого является постепенная потеря слуха на оба уха, первоначально лежащая в области высоких частот (4000 Гц), с последующим распространением на более низкие частоты, к которым относится речь.

При очень большом звуковом давлении может произойти разрыв барабанной перепонки. Наиболее неблагоприятными для органа слуха является высокочастотный шум (1000 ... 4000 Гц).

Кроме непосредственного воздействия на орган слуха шум влияет на различные отделы головного мозга, изменяя нормальные процессы высшей нервной деятельности. Это так называемое неспецифическое воздействие шума может возникнуть даже раньше, чем изменения в органе слуха. Характерными являются жалобы на повышенную утомляемость, общую слабость, раздражительность, апатию, ослабление памяти и т.п.

Исследованиями последних лет установлено, что под влиянием шума наступают изменения в органе зрения человека (снижается устойчивость ясного видения и острота зрения, изменяется чувствительность к различным цветам, зрительная реакция при шуме 90 дБ уменьшается на 25 %) и вестибулярном аппарате; нарушаются функции желудочно-кишечного тракта; повышается внутричерепное давление; происходят нарушения в обменных процессах организма и т.п.

Шум, особенно прерывистый, импульсный, ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет приём и восприятие информации. В результате неблагоприятного воздействия шума на работающего человека происходит снижение производительности труда, увеличивается брак в работе, создаются предпосылки к возникновению несчастных случаев. Всё это обуславливает большое оздоровительное и экономическое значение мероприятий по борьбе с шумом.

Нормирование шума. Нормирование – это определение предельно допустимых параметров в зависимости от применяемого критерия. В нашей стране нормирование шума ведётся в двух направлениях: гигиеническое нормирование (нормы по ограничению шума на рабочих местах) и нормирование шумовых характеристик машин.

Действующие в настоящее время нормы шума на рабочих местах регламентируются ГОСТом 12.1.003-83 «ССБТ Шум. Общее требование безопасности», в зависимости от вида выполняемых работ или типа рабочих мест. При этом для каждого вида шума устанавливаются свои нормируемые параметры. Для постоянных широкополосных шумов нормирование ведётся по предельному спектру шума – т.е. по совокупности нормативных уровней звукового давления в октавных полосах частот (f_{cp} , Гц: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000).

На рис. 2 приведены некоторые предельные спектры с различными допустимыми уровнями звукового давления в октавной полосе со средней геометрической частотой 1000 Гц.

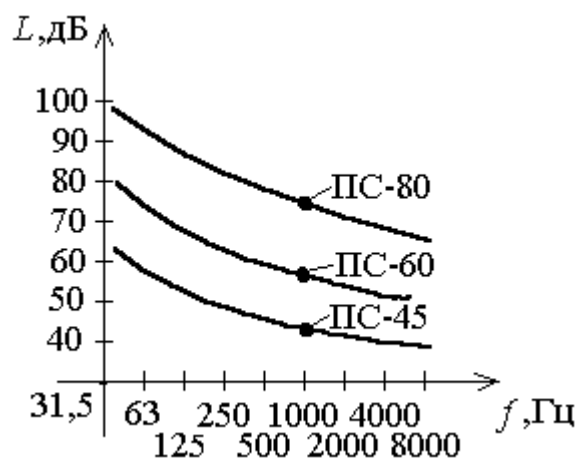


Рис. 2. Предельные спектры шумов

Из рисунка видно, что с ростом частоты допустимые уровни шума уменьшаются.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот в ГОСТе даны также в таблице 2. Для тонального и импульсного шума допустимые значения нормированных параметров устанавливаются на 5 дБ меньше соответствующих значений, определённых по таблице.

Таблица 2.

Допустимые уровни шума на рабочих местах
(выписка из ГОСТа 12.1.0003-83)

Вид трудовой деятельности	Уровни звукового давления в 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	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Творческая деятельность, руководящая работа, научная деятельность, конструирование, проектирование, программирование, преподавание и др.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Выполнение всех видов работ на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятия	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для ориентировочной оценки шума ГОСТ допускает за характеристику постоянного шума на рабочих местах принимать **уровень звука** в дБА, измеряемый по шкале «А» шумомера без частотного анализа, которая приблизительно соответствует частотной характеристике слуха человека (1000 Гц).

В производственных условиях очень часто шум имеет непостоянный характер. В этом случае пользуются средней величиной, называемой **эквивалентным уровнем звука**, дБА. Этот уровень измеряется специальными интегрирующими шумомерами или рассчитываются.

Стандарт предписывает зоны с уровнем звука выше 80 дБА обозначать специальными знаками, а работающих в этих зонах снабжать средствами индивидуальной защиты. Запрещается даже кратковременное пребывание людей в зонах с уровнями звукового давления свыше 135 дБ в любой октавной полосе.

Для оценки вредности шума проводят сопоставление действительных уровней звукового давления, уровня звука или эквивалентного уровня звука с нормативным.

Примеры

1. Определить допустимый уровень звукового давления на постоянном месте рабочего котельного цеха и сравнить с действительными: шум постоянный, уровень звукового давления которого составляет 82 дБ в октавной полосе с $f_{cp} = 500$ Гц и 73 дБ с $f_{cp} = 1000$ Гц.

2. Измерениями установлено, что на постоянном рабочем месте величина уровня звукового давления импульсного шума составляет 90 дБ в октавной полосе с $f_{cp} = 63$ Гц. Оценить вредность такого шума.

3. Измерениями установлено, что уровень звука на постоянном рабочем месте рабочего топливно-транспортного цеха ТЭС составляет 78 дБА, соответствует ли он ГОСТу?

Защита от шума

Защита работающих от шума может осуществляться как коллективными средствами и методами, так и индивидуальными средствами. В первую очередь надо использовать коллективные средства, которые подразделяются на средства, снижающие шум **в источнике его возникновения**, и средства, снижающие шум **на пути его распространения** от источника шума до защищаемого объекта (человека). Наиболее эффективны мероприятия, снижающие шум в источнике его возникновения. Борьба с шумом после его возникновения обходится дороже и часто является малоэффективной.

Выбор средств, снижающих шум в источнике его возникновения, зависит от происхождения шума. Это может быть повышение точности изготовления деталей и качества сборки, использование малошумных материалов и т.д.

Звукоизоляция и звукопоглощение являются методами снижения производственного шума на пути его распространения. С помощью звукоизолирующих преград можно снизить уровень шума на 30 - 40 дБ. Метод основан на отражении звуковой волны, падающей на ограждение. Наиболее эффективным звукоизолирующими материалами являются металлы, бетон, дерево, плотные пластмассы и т.п.

Для оценки звукоизолирующей способности ограждения введено понятие **звукопроницаемости** (τ), под которым понимают отношение звуковой энергии, прошедшей через ограждение, к падающей на него:

$$\tau = \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{пад}}} .$$

Величина обратная звукопроницаемости называется звукоизоляцией (R , дБ) и связаны они между собой следующей зависимостью:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} .$$

Снижение шума методом звукопоглощения основано на переходе энергии звуковых колебаний частиц воздуха в теплоту вследствие потерь на трение в порах звукопоглощающего материала. Чем больше звуковой энергии поглощается, тем меньше её отражается обратно в помещение. Звукопоглощающие устройства бывают пористыми, пористоволокнистыми, слоистыми, мембранными, объемными и т.п.

Эффективность звукопоглощающего устройства характеризуется **коэффициентом звукопоглощения** α , который представляет собой отношение поглощенной звуковой энергии к падающей:

$$\alpha = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}} .$$

Для достижения максимального эффекта рекомендуется облицовывать не менее 60 % общей площади ограждающих поверхностей, а объёмные (штучные) звукопоглотители – располагать как можно ближе к источнику шума. Максимальное снижение шума, достигаемое данным методом, не превышает 10 - 12 дБ.

Применение **средств индивидуальной защиты от шума** целесообразно в тех случаях, когда средства коллективной защиты не обеспечивают снижения уровня шума до допустимого. Средства индивидуальной защиты позволяют снизить уровень шума на 10-45 дБ, причём наиболее значительное глушение шума наблюдается в области высоких частот, наиболее опасных для человека. К средствам индивидуальной защиты от шума относятся: противошумные наушники, закрывающие ушные раковины снаружи; противошумные вкладыши (однократного и многократного пользования), перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему; противошумные шлемы и каски – они применяются при очень высоких уровнях шума в сочетании с наушниками, а также противошумными костюмами.

Вибрация

Вибрация – это колебательные движения систем с упругими связями, воспринимаемые организмом человека как сотрясения. Вибрация характеризуется следующими параметрами:

- амплитудой смещения A , м (величиной наибольшего отклонения колеблющейся точки от положения равновесия);
- виброскоростью V , м/с;
- виброускорением a , м/с²;
- периодом колебаний T , с;
- частотой колебаний f , Гц.

Источниками колебательного движения могут быть двигатели или технологические установки, которые порождают нежелательную вибрацию в объектах. Опасность вибрации состоит в том, что, когда частота вынужденных колебаний совпадает с частотой собственных колебаний оборудования, возникает резонанс, характеризующийся резким увеличением амплитуды, скорости и ускорения, что может вызвать быстрый износ или поломку оборудования. Большинство внутренних органов человека имеют собственную частоту колебаний в диапазоне 6-10 Гц и внешние колебания с такими частотами могут вызвать вредные резонансные явления в органах человека.

По характеру воздействия на организм человека вибрация подразделяется на **общую**, передаваемую на всё тело и **местную**, передаваемую через руки человека. Наиболее распространённые заболевания, вызванные местной (локальной) вибрацией – это отложение солей в суставах и уменьшение подвижности суставов. При общей вибрации

наблюдается нарушение центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы, вестибулярного аппарата. При длительном воздействии вибрации на работающего может возникнуть такое профессиональное заболевание, как виброблезнь, которая выражается в стойком нарушении физиологических функций организма в целом.

Нормирование вибрации

Для оценки степени вредного воздействия на человека вибрация нормируется в соответствии с ГОСТом 12.1.012-90 «ССБТ Вибрация. Общие требования безопасности». Нормируемыми параметрами вибрации являются средне квадратичные значения виброскорости и виброускорения, а также логарифмический уровень виброскорости L_v , дБ:

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{V_0} ,$$

где V - средне квадратичные значения виброскорости, м/с;

V_0 – пороговое значение виброскорости, равное $5 \cdot 10^{-8}$ м/с.

Общая вибрация нормируется в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 63 Гц и в 1/3 октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0;...80 Гц.

Локальная вибрация нормируется в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 8, 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц.

При превышении вибрационной нагрузки на работающего более чем на 1 дБ от допустимой (нормируемой) вводятся ограничения по времени непрерывного воздействия вибрации на работающего (табл. 3).

Таблица 3.

Допустимое суммарное время непрерывного воздействия локальной вибрации на работающего за смену

Показатель превышения вибрационной нагрузки, дБ	Время работы, мин
1	2
1	381
2	302
3	240
4	191
5	151
6	120
7	95
8	76
9	60

10	48
11	38
12	30

При показателе превышения более 12 дБ запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию.

Защита от вибрации

Защита от воздействия вибрации ведется следующими путями:

1. Уменьшение вибрации в источнике её возникновения (качественная сборка и регулирование установленного оборудования);

2. Ослабление вибрации на пути её распространения: **виброизоляция** (путём устройства упругих элементов, размещенных между вибрирующей машиной и основанием, на котором она установлена – пружинных, резиновых, войлочных и т.д.); **вибропоглощение** – нанесение на вибрирующую поверхность слоя резины, мастик, пластиков, которые рассеивают энергию вибрации; **виброгашение** – установка специальных вибрирующих (демпферных) устройств, не совпадающих по фазе, в результате чего происходит уменьшение амплитуды вибрации.

При параметрах вибрации выше допустимых предусматривается применение средств индивидуальной защиты для рук (виброручкавицы и виброперчатки) и для ног (виброзащитную обувь).

Защитой от вибрации являются также рациональные режимы труда и отдыха.