

## **Практическое занятие по дисциплине «БЖД»**

Тема занятия:

**«ЗАЩИТА ОТ ШУМА»**

Время: 2 часа.

### III. Защита от шума

#### 1. Звук. Основные характеристики звукового поля. Распространение звука

Понятие **звук**, как правило, ассоциируется со слуховыми ощущениями человека, обладающего нормальным слухом. Слуховые ощущения вызываются колебаниями упругой среды, которые представляют собой механические колебания, распространяющиеся в газообразной, жидкой или твердой среде и воздействующие на органы слуха человека. При этом колебания среды воспринимаются как звук только в определенной области частот (16 Гц - 20 кГц) и при звуковых давлениях, превышающих порог слышимости человека.

Частоты колебаний среды, лежащие ниже и выше диапазона слышимости, называются соответственно **инфразвуковыми** и **ультразвуковыми**. Они не имеют отношения к слуховым ощущениям человека и воспринимаются как физические воздействия среды.

**Основными параметрами, характеризующими звуковую волну, являются:**

- **звуковое давление  $p_{\text{зв}}$ , Па;**
- **интенсивность звука  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>.**
- **длина звуковой волны  $\lambda$ , м;**
- **скорость распространения волны  $c$ , м/с;**
- **частота колебаний  $f$ , Гц.**

Если в сплошной среде возбудить колебания, то они расходятся во все стороны. Наглядным примером являются колебания волн на воде. При этом следует различать скорость распространения механических колебаний  $u$  (в нашем случае видимые поперечные колебания воды) и **скорость распространения возмущающего действия  $c$**  (продольные акустические колебания).

С физической точки зрения распространение колебаний состоит в передаче импульса движения от одной молекулы к другой. Благодаря упругим межмолекулярным связям движение каждой из них повторяет движение предыдущей. Передача импульса требует определенной затраты времени, в результате чего движение молекул в точках наблюдения происходит с запаздыванием по отношению к движению молекул в зоне возбуждения колебаний. Таким образом, колебания распространяются с определенной скоростью. **Скорость распространения звуковой волны** (2)  $c$  - это физическое свойство среды.

Скорость звука в различных средах (2):

Газы	$c$ , м/с	Жидкости	$c$ , м/с	Твердые материалы	$c$ , м/с
Водород	1310	Ацетон	1190	Алюминий	5200
Гелий	1005	Этиловый спирт	1150	Сталь	5100
Кислород	326	Метиловый спирт	1120	Никель	4800
Азот	337	Бензин	1190	Медь	3700
Углекислый газ	268	Глицерин	1959	Дерево	2000 ÷ 3000
Воздух	344	Вода дистиллированная.	1495	Пробка	500
Водяной пар 130°C	450			Резина	70

Длина волны  $\lambda$  равна длине пути, проходимого звуковой волной за один период  $T$ :

$$\lambda = c \cdot T,$$

где  $c$  - скорость звука,  $T = 1/f$ .

Звуковые колебания в воздухе приводят к его сжатию и разрежению. В областях сжатия давление воздуха возрастает, а в областях разрежения понижается. Разность между давлением, существующем в возмущенной среде  $p_{\text{ср}}$  в данный момент, и атмосферным давлением  $p_{\text{атм}}$ , называется **звуковым давлением** (рис.3.3). В акустике этот параметр является основным, через который определяются все остальные.

$$p_{\text{зв}} = p_{\text{ср}} - p_{\text{атм}}. \quad (3.1)$$

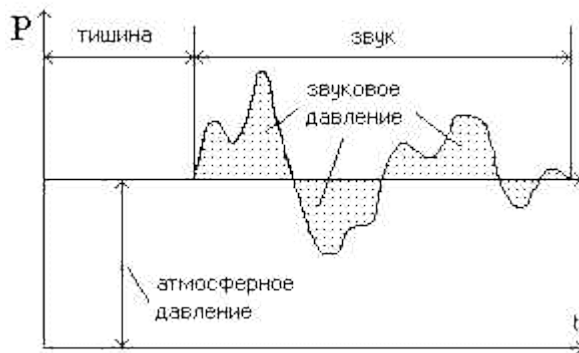


Рис.3.3. Звуковое давление

Среда, в которой распространяется звук, обладает **удельным акустическим сопротивлением**  $z_A$ , которое измеряется в Па\*с/м (или в кг/(м<sup>2</sup>\*с) и представляет собой отношение звукового давления  $p_{\text{зв}}$  к колебательной скорости частиц среды  $u$

$$z_A = p_{\text{зв}}/u = \rho \cdot c, \quad (3.2)$$

где  $c$  - скорость звука, м;  $\rho$  - плотность среды, кг/м<sup>3</sup>.

Для различных сред значения  $z_A$  различны.

Вещество	$t, ^\circ\text{C}$	Удельное акустическое сопротивление, кг/(м <sup>2</sup> *с)	Плотность вещества $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Водород	0	114	0,09
Воздух	20	414	1,20
Кислород	0	455	1,43
Резина	20	600	950
Пробка	20	$12 \cdot 10^4$	250
Спирт	12,5	$100 \cdot 10^4$	810
Вода	13	$144 \cdot 10^4$	1000
Ель	20	$240 \cdot 10^4$	510
Дуб	20	$290 \cdot 10^4$	720
Алюминий	20	$1400 \cdot 10^4$	2700

Медь	20	$3100 \cdot 10^4$	8900
------	----	-------------------	------

Звуковая волна является носителем энергии в направлении своего движения. Количество энергии, переносимой звуковой волной за одну секунду через сечение площадью  $1 \text{ м}^2$ , перпендикулярное направлению движения, называется **интенсивностью звука**. Интенсивность звука определяется отношением звукового давления к акустическому сопротивлению среды  $\text{Вт/м}^2$  :

$$I = p_{\text{зв}}^2 / Z_A. \quad (3.3)$$

Для сферической волны от источника звука с мощностью  $W$ , Вт интенсивность звука на поверхности сферы радиуса  $r$  равна

$$I = W / (4\pi \cdot r^2), \quad (3.4)$$

то есть интенсивность *сферической волны* убывает с увеличением расстояния от источника звука. В случае *плоской волны* интенсивность звука не зависит от расстояния.

## 2. Уровни акустических величин

Человек ощущает звук в широком диапазоне звуковых давлений  $p_{\text{зв}}$  (интенсивностей  $I$ ).

**Стандартным порогом слышимости** называют эффективное значение звукового давления (интенсивности), создаваемого гармоническим колебанием с частотой  $f = 1000 \text{ Гц}$ , едва слышимым человеком со средней чувствительностью слуха.

Стандартному порогу слышимости соответствует звуковое давление  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$  или интенсивность звука  $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ . Верхний предел звуковых давлений, ощущаемых слуховым аппаратом человека, ограничивается болевым ощущением и принят равным  $p_{\text{max}} = 20 \text{ Па}$  и  $I_{\text{max}} = 1 \text{ Вт/м}^2$ .

Величина слухового ощущения  $\Lambda$  при превышении звуковым давлением  $p_{\text{зв}}$  стандартного порога слышимости определяется по закону психофизики Вебера - Фехнера:

$$\Lambda = q \lg(p_{\text{зв}}/p_0),$$

где  $q$  - некоторая постоянная, зависящая от условий проведения эксперимента.

С учетом психофизического восприятия звука человеком для характеристики значений звукового давления  $p_{\text{зв}}$  и интенсивности  $I$  были введены **логарифмические величины – уровни  $L$**  (с соответствующим индексом), выраженные в безразмерных единицах – **децибелах**, дБ, названных в честь Грейма – Бела (увеличение интенсивности звука в 10 раз соответствует 1 Белу (Б) – 1Б = 10 дБ):

$$L_p = 10 \lg (p/p_0)^2 = 20 \lg (p/p_0), \quad (3.5, a)$$

$$L_I = 10 \lg (I/I_0). \quad (3.5, б)$$

Следует отметить, что при нормальных атмосферных условиях  $L_p = L_I$ .

По аналогии были введены также и уровни звуковой мощности

$$L_w = 10 \lg (W/W_0), \quad (3.5, в)$$

где  $W_0 = I_0 \cdot S_0 = 10^{-12} \text{ Вт}$  – пороговая звуковая мощность на частоте 1000 Гц,  $S_0 = 1 \text{ м}^2$ .

Безразмерные величины  $L_p, L_I, L_w$  достаточно просто измеряются приборами, поэтому их полезно использовать для определения абсолютных значений  $p, I, W$  по обратным к (3.5) зависимостям

$$p^2 = p_0^2 \cdot 10^{0.1 L_p}, \quad (3.6, а)$$

$$I = I_0 \cdot 10^{0.1 L_I}, \quad (3.6, б)$$

$$W = W_0 \cdot 10^{0.1 L_w}. \quad (3.6, в)$$

Уровень суммы нескольких величин определяется по их уровням  $L_i, i = 1, 2, \dots, n$  соотношением

$$L_\Sigma = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_i} \right), \quad (3.7)$$

где  $n$  - количество складываемых величин.

Если складываемые уровни одинаковы ( $L_i = L$ ), то

$$L_\Sigma = L + 10 \lg n. \quad (3.8)$$

### **3. Производственный шум, его источники и характеристики**

Понятие "шум" весьма субъективно. Всякий нежелательный в данный момент звук (или звуки) человек воспринимает как шум. Одни и те же звуки разными людьми могут восприниматься по-разному.

Физиологи и гигиенисты определяют **шум** как звук, *оцениваемый негативно и наносящий вред здоровью.*

Машины и механизмы, используемые на производстве, являются источниками звуков различной частоты и интенсивности, изменяющихся во времени. Поэтому **производственный шум** рассматривают как *совокупность звуков различной интенсивности и частоты, беспорядочно изменяющихся во времени и вызывающих у работающих неприятные субъективные ощущения*

#### **Характеристики и виды производственных шумов**

Производственный шум характеризуется **спектром**, который состоит из звуковых волн разных частот.

При исследовании шумов обычно слышимый диапазон 16 Гц - 20 кГц разбивают на полосы частот и определяют звуковое давление, интенсивность или звуковую мощность, приходящиеся на каждую полосу.

Как правило, **спектр шума** характеризуется уровнями названных величин, *распределенными по октавным полосам частот*.

Полоса частот, верхняя граница которой превышает нижнюю в два раза, т.е.  $f_2 = 2f_1$ , называется **октавой**.

Для более детального исследования шумов иногда используются **третьеоктавные** полосы частот, для которых

$$f_2 = 2^{1/3} f_1 = 1,26 f_1 .$$

Октавная или третьеоктавная полоса обычно задается **среднегеометрической частотой**:

$$f_{\text{сг}} = \sqrt{f_1 \cdot f_2} .$$

Существует стандартный ряд среднегеометрических частот октавных полос, в которых рассматриваются спектры шумов ( $f_{\text{сг мин}} = 31,5$  Гц,  $f_{\text{сг макс}} = 8000$  Гц).

$f_{\text{сг}}$ , Гц	$f_1$ , Гц	$f_2$ , Гц
16	11	22
31,5	22	44
63	44	88
125	88	177
250	177	355
500	355	710
1000	710	1420
2000	1420	2840
4000	2840	5680
8000	5680	11360

По частотной характеристике различают шумы:

- низкочастотные ( $f_{\text{сг}} < 250$ );
- среднечастотные ( $250 < f_{\text{сг}} \leq 500$ );
- высокочастотные ( $500 < f_{\text{сг}} \leq 8000$ ).

Производственные шумы имеют различные спектральные и временные характеристики, которые определяют степень их воздействия на человека. По этим признакам шумы подразделяют на несколько видов.

Таблица 3.5

#### Классификация шумов

Способ классификации	Вид шума	Характеристика шума
По характеру спектра шума	• широкополосные	Непрерывный спектр шириной более одной октавы
	• тональные	В спектре которого имеются явно выраженные дискретные тона

По временным характеристикам	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>постоянные</b></li> </ul>	Уровень звука за 8 часовой рабочий день изменяется не более чем на 5 дБ(А)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>непостоянные:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ колеблющиеся во времени</li> <li>▪ прерывистые</li> <li>▪ импульсные</li> </ul> </li> </ul>	<p>Уровень звука за 8 часовой рабочий день изменяется более чем на 5 дБ(А)</p> <p>Уровень звука непрерывно изменяется во времени</p> <p>Уровень звука изменяется ступенчато не более чем на 5 дБ(А), длительность интервала 1с и более</p> <p>Состоят из одного или нескольких звуковых сигналов, длительность интервала меньше 1с</p>

### **Источники производственного шума и их характеристики**

По природе возникновения *шумы машин или агрегатов* делятся на:

- Механические.

На ряде производств преобладает механический шум, основными источниками которого являются зубчатые передачи, механизмы ударного типа, цепные передачи, подшипники качения и т.п. Он вызывается силовыми воздействиями неуравновешенных вращающихся масс, ударами в сочленениях деталей, стуками в зазорах, движением материалов в трубопроводах и т.п. Спектр механического шума занимает широкую область частот. Определяющими факторами механического шума являются форма, размеры и тип конструкции, число оборотов, механические свойства материала, состояние поверхностей взаимодействующих тел и их смазывание. Машины ударного действия, к которым относится, например, кузнечно-прессовое оборудование, являются источником импульсного шума, причем его уровень на рабочих местах, как правило, превышает допустимый. На машиностроительных предприятиях наибольший уровень шума создается при работе металло- и деревообрабатывающих станков.

- Аэродинамические и гидродинамические.

Шумы, обусловленные периодическим выбросом газа в атмосферу, работой винтовых насосов и компрессоров, пневматических двигателей, двигателей внутреннего сгорания;

Шумы, возникающие из-за образования вихрей потока у твердых границ. Эти шумы наиболее характерны для вентиляторов, турбовоздуходувок, насосов, турбокомпрессоров, воздуховодов;

Кавитационный шум, возникающий в жидкостях из-за потери жидкостью прочности на разрыв при уменьшении давления ниже определенного предела и возникновения полостей и пузырьков, заполненных парами жидкости и растворенными в ней газами.

- Электромагнитные.

Шумы электромагнитного происхождения возникают в различных электротехнических изделиях (например при работе электрических машин). Их причиной является взаимодействие ферромагнитных масс под влиянием переменных во времени и пространстве магнитных полей. Электрические машины создают шумы с различными уровнями звука от 20 ÷ 30 дБ (микромашин) до 100 ÷ 110 дБ (крупные быстроходные машины).

При работе различных механизмов, агрегатов, оборудования одновременно могут возникать шумы различной природы.

Любой источник шума характеризуется, прежде всего, звуковой мощностью.

**Звуковая мощность источника  $W$ , Вт** – это общее количество звуковой энергии, излучаемой источником шума в окружающее пространство.

Если окружить источник шума замкнутой поверхностью площадью  $S$ , то звуковая мощность источника

$$W = \int_S I(S) dS = \int_S \frac{p^2(S)}{\rho c} dS,$$

где  $I(S)$ ,  $P(S)$  – законы распределения интенсивности звука и звукового давления по поверхности  $S$ .

Для характеристики источника шума используется также уровень звуковой мощности  $L_W$ , дБ

$$L_W = 10 \lg (W/W_0),$$

где  $W_0 = I_0 * S_0 = P_0^2 * S_0 / \rho c = 10^{-12}$  Вт – пороговая звуковая мощность на частоте 1000 Гц,  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>,  $S_0 = 1$  м<sup>2</sup>.

Для определения уровня звуковой мощности источника на некотором одинаковом от него расстоянии  $r$  в  $n$  точках измеряют уровень звукового давления  $P_i$  и вычисляют

$$L_W = 10 \lg S + L_{p \text{ ср}}, \quad (3.9)$$

где  $S$  - площадь сферы радиусом  $r$  (если источник расположен на полу помещения, то площадь полусферы),

$$L_{p \text{ ср}} = 10 \lg \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{p_i}} \right).$$

Поскольку источники производственного шума, как правило, излучают звуки различной частоты и интенсивности, то полную шумовую характеристику источника дает *шумовой спектр - распределение звуковой мощности (или уровня звуковой мощности) по октавным полосам частот*.

Источники шума часто излучают звуковую энергию неравномерно по направлениям. Эта неравномерность излучения характеризуется коэффициентом  $\Phi(\varphi)$  - фактором направленности.



**Фактор направленности**  $\Phi(\varphi)$  показывает отношение интенсивности звука  $I(\varphi)$ , создаваемого источником в направлении с угловой координатой  $\varphi$  к интенсивности  $I_{\text{ср}}$ , которую развил бы в этой же точке ненаправленный источник, имеющий ту же звуковую мощность и излучающий звук во все стороны равномерно

$$\Phi(\varphi) = I(\varphi) / I_{\text{ср}} = p^2(\varphi) / p_{\text{ср}}^2,$$

где  $p_{\text{ср}}$  - звуковое давление (усредненное по всем направлениям на постоянном расстоянии от источника);  $p(\varphi)$  - звуковое давление в угловом направлении  $\varphi$ , измеренное на том же расстоянии от источника.

**Характеристику направленности** излучения можно описать через соответствующие уровни в дБ:

$$G(\varphi) = 10 \lg \Phi(\varphi) = 10 \lg (I(\varphi) / I_{\text{ср}}) = 20 \lg (p(\varphi) / p_{\text{ср}}) = L - L_{\text{ср}}. \quad (3.10)$$

*Стандартными шумовыми характеристиками*, которые указываются в прилагаемой к машине технической документации, являются:

- *уровни звуковой мощности*, дБ в октавных полосах частот;
- *корректированный по шкале А уровень звуковой мощности*  $L_{WA}$ , дБА:

$$L_{WA} = 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0,1 L_{WAi}}, \quad (3.11)$$

$$L_{WAi} = L_{Wi} - \Delta L_{Ai},$$

где  $L_{Wi}$  - уровень звуковой мощности  $i$ -ой октавы, дБ;  $\Delta L_{Ai}$  - поправка по шкале А;

- максимальный показатель направленности излучения шума  $G_{\text{max}}(\varphi)$  в октавных полосах частот в дБ;
- максимальный показатель направленности излучения шума  $G_{\text{max}}(\varphi)$ , дБА.

Допустимые уровни звукового давления для рабочих мест служебных помещений и для жилых и общественных зданий и их территорий различны.

Таблица 3.7

Нормативным документом, регламентирующим уровни шума для различных категорий рабочих мест служебных помещений является ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».

Рабочее место	Уровень звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука, дБА, эквивалентный уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Помещения КБ, расчетчиков, программистов вычислительных машин,	71	61	54	49	45	42	40	38	50

лабораторий для теоретических работ и обработки экспериментальных данных, приема больных здравпунктов									
2. Помещения управлений (рабочие комнаты)	79	70	68	58	52	52	50	49	60
3а. Кабины наблюдений и дистанционного управления без речевой связи по телефону	94	87	82	78	75	73	71	70	80
3б. Кабины наблюдений и дистанционного управления с речевой связью по телефону	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4. Помещения и участки точной сборки, маш.бюро	83	74	68	63	60	57	55	54	65
5. Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	94	87	82	78	75	73	71	70	80
6. Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий, рабочие места водителя и обслуживающего персонала грузового автотранспорта, тракторов и др. аналогичных машин	99	92	86	83	80	78	76	74	85

**Примечание.** Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать:

- для *широкополосного постоянного и непостоянного* (кроме импульсного) шума – по табл. 3.7;
- для *тонального и импульсного* – на 5 дБ меньше значений, указанных в таблице 3.7.

Дополнительно к требованиям, указанным выше, максимальный уровень звука непостоянного шума на рабочих местах по п. 6 табл. 3.7 не должен превышать 110 дБА при измерениях на временной характеристике «S - медленно», а максимальный уровень звука импульсного шума на рабочих местах по п. 6 табл. 3.7 не должен превышать 125 дБА при измерениях на временной характеристике «I - импульс».

Таблица 3.8

Допустимые уровни звукового давления (эквивалентные уровни звукового давления) в дБ в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА для жилых и общественных зданий и их территорий следует принимать в соответствии со СНиП 11-12-88 "Защита от шума".

Помещения и территории	Уровни звукового давления $L$ (эквивалентные уровни звукового давления $L_{\text{экв}}$ ) в дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами в Гц								Уровни звука $L_{\text{дл}}$ эквивалентные уровни звука $L_{\text{А}}$ экв в дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Палаты больниц и санаториев, операционные больницы	51	39	31	24	20	17	14	13	25
2. Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха и	55	44	35	29	25	22	20	18	30

пансионатов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах.									
3. Кабинеты врачей больниц, санаториев, поликлиник, зрительные залы концертных залов, номера гостиниц, жилые комнаты в общежитиях	59	48	40	34	30	27	25	23	35
4. Территории больниц, санаториев, непосредственно прилегающие к зданию	59	48	40	34	30	27	25	23	35
5. Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам (в 2м от ограждающих конструкций), площадки отдыха микрорайонов и групп жилых домов, площадки детских дошкольных учреждений, участки школ	67	57	49	44	40	37	35	33	45
6. Классные помещения, учебные кабинеты, аудитории школ и других учебных заведений, конференц-залы, читальные залы, зрительные залы театров, клубов, кинотеатров, залы судебных заседаний и совещаний	63	52	45	39	35	32	30	28	40
7. Рабочие помещения управлений, рабочие помещения конструкторских, проектных организаций и научно-исследовательских институтов	71	61	54	49	45	42	40	38	50
8. Залы кафе, ресторанов, столовых, фойе, театров,	75	66	59	54	50	47	45	43	55

кинотеатров									
9. Торговые залы магазинов, спортивные залы, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Таблица 3.9

Поправки к табл. 3.8

Влияющий фактор	Условия	Поправка в дБ или дБА
Характер шума	Широкополосный шум	0
	Тональный или импульсный (при измерениях стандартным шумомером) шум	-5
Местоположение объекта	Курортный район	-5
	Новый проектируемый городской жилой район	0
	Жилая застройка, расположенная в существующей (сложившейся) застройке	+5
Время суток	День – с 7 до 23 ч	+10
	Ночь – с 23 до 7 ч	0

#### 4. Акустический расчет

Необходимость проведения мероприятий по снижению шума определяется:

- на действующих предприятиях на основании измерений уровней звукового давления на рабочих местах с последующим сравнением этих уровней с допустимыми по нормам  $L_{\text{доп}}$ ,
- на проектируемых предприятиях – на основании проведенного акустического расчета.

**Акустический расчет включает:**

- выявление источников шума и определение их шумовых характеристик;
- выбор расчетных точек и определение допустимых уровней звукового давления  $L_{\text{доп}}$  для этих точек;
- расчет ожидаемых уровней звукового давления  $L_p$  в расчетных точках;
- расчет необходимого снижения шума в расчетных точках;
- разработка строительно-акустических мероприятий для обеспечения требуемого снижения шума или по защите от шума (с расчетом).

*Акустический расчет выполняется во всех расчетных точках для восьми октавных полос со среднегеометрическими частотами от 63 до 8000 Гц с точностью до десятых долей дБ. Окончательный результат округляют до целых значений.*

**Исходными данными для акустического расчета являются:**

- геометрические размеры помещения;
- спектр шума источника (или источников) излучения;
- характеристика помещения;
- характеристика преграды;
- расстояние от центра источника (источников) до рабочей точки.

**Выбор расчетных точек.** Расчетные точки при акустических расчетах следует выбирать внутри помещений зданий и сооружений, а также на территории на рабочих местах или в зоне постоянного пребывания людей на высоте 1,2 – 1,5 м от уровня пола рабочей площадки или планировочной отметки территории.

При этом внутри помещения, в котором один источник шума или несколько источников шума с одинаковыми октавными уровнями звукового давления, следует выбирать не менее двух расчетных точек: одну на рабочем месте, расположенном в зоне отраженного звука, а другую – на рабочем месте в зоне прямого звука, создаваемого источниками шума.

Если в помещении несколько источников шума, отличающихся друг от друга по октавным уровням звукового давления на рабочих местах более чем на 10 дБ, то в зоне прямого звука следует выбирать две расчетные точки: на рабочих местах у источников с наибольшими и наименьшими уровнями звукового давления  $L_p$  в дБ.

**Расчет ожидаемых уровней звукового давления  $L_p$  в расчетных точках.** В зависимости от того, где находится источник шума и расчетные точки (в свободном звуковом поле или в помещении), применяют различные методики расчета:

- **Расчет ожидаемых октавных уровней звукового давления в помещении:**
  - **с одним источником шума;**

Ожидаемые октавные уровни звукового давления  $L_p$  в дБ в расчетных точках на рабочих местах помещения, в котором находится **один источник шума**, определяются:

а) в зоне прямого и отраженного звука по формуле:

$$L_p = L_W + 10 \lg \left( \frac{\chi \Phi}{S} + \frac{4\psi}{B} \right), \quad (3.12)$$

б) в зоне прямого звука по формуле:

$$L_p = L_W + 10 \lg \left( \frac{\chi \Phi}{S} \right), \quad (3.13)$$

в) в зоне отраженного звука по формуле:

$$L_W = L - 10 \lg B + 10 \lg \psi + 6, \quad (3.14)$$

где  $L_W$  – октавный уровень звуковой мощности источника шума в дБ

$$L_W = 10 \lg (W/W_0),$$

где  $W_0 = I_0 \cdot S_0 = P_0^2 \cdot S_0 / \rho c = 10^{-12}$  Вт – пороговая звуковая мощность на частоте 1000 Гц,

$$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2, S_0 = 1 \text{ м}^2.$$

$\Phi$  – фактор направленности показывает отношение интенсивности звука  $I(\varphi)$ , создаваемого источником в направлении с угловой координатой  $\varphi$  к интенсивности  $I_{\text{ср}}$ , которую развил бы в этой же точке ненаправленный источник, имеющий ту же звуковую мощность и излучающий звук во все стороны равномерно

$$\Phi(\varphi) = I(\varphi) / I_{\text{ср}} = p^2(\varphi) / p_{\text{ср}}^2,$$

где  $p_{\text{ср}}$  - звуковое давление (усредненное по всем направлениям на постоянном расстоянии от источника);  $p(\varphi)$  - звуковое давление в угловом направлении  $\varphi$ , измеренное на том же расстоянии от источника.;

$\chi$  – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние ближнего акустического поля и принимаемый в зависимости от отношения расстояния между акустическим центром источника и расчетной точкой  $r$  (м) к максимальному габаритному размеру источника  $l_{\text{max}}$  (м) по графику рис. 3.8;

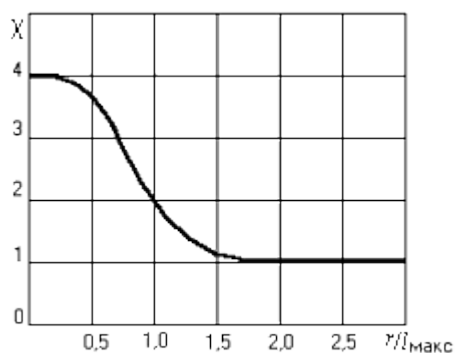


Рис. 3.8. Зависимость эмпирического коэффициента  $\chi$  от отношения  $r/l_{\text{max}}$

*Примечание:* Акустический центр источника шума, расположенного на полу или стене, следует принимать совпадающим с проекцией геометрического центра источника шума на горизонтальную или вертикальную плоскость.

$S$ ,  $\text{м}^2$  – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей источник и проходящей через расчетную точку:

для источников шума, у которых  $r > 2l_{\text{max}}$ , следует принимать при расположении источников шума:

- в пространстве  $S = 4\pi r^2$
- на поверхности пола, стены, перекрытия  $S = 2\pi r^2$ ;
- в двухгранном углу, образованном ограждающими поверхностями  $S = \pi r^2$ ;
- в трехгранном углу, образованном ограждающими поверхностями  $S = \pi r^2 / 2$ ;

$B$ ,  $\text{м}^2$  – постоянная помещения, которая находится из выражения

$$B = B_{1000} \mu, \quad (3.15)$$

где  $\mu$  - частотный множитель, определяемый по табл. 3.10;

Таблица 3.10

Объем помещения, м <sup>3</sup>	Среднегеометрическая частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
V << 200	0,8	0,75	0,7	0,8	1,0	1,4	1,8	2,5
V = 200 ÷ 1000	0,65	0,62	0,64	0,75	1,0	1,5	2,4	4.2
V >> 1000	0,5	0,5	0,55	0,7	1,0	1,6	3,0	6,0

$V_{1000}$  - постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, которая рассчитывается в зависимости от объема  $V$  (м<sup>3</sup>) и типа помещения как:

- $V/20$  - для помещений без мебели с небольшим количеством людей (металлообрабатывающие цехи, машинные залы, испытательные стенды и т.д.);
- $V/10$  - для помещений с жесткой мебелью или с небольшим количеством людей и мягкой мебелью (лаборатории, кабинеты и т.д.);
- $V/6$  - для помещений с большим количеством людей и мягкой мебелью (рабочие помещения административных зданий, жилые комнаты и т.п.);
- $V/1,5$  - для помещений с звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен;

$\psi$ - коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении, принимаемый в зависимости от отношения постоянной помещения  $V$  к площади ограждающих поверхностей  $S_{огр}$ , которая определяется с учетом суммы площадей пола, потолка и стен помещения по графику рис. 3.9.

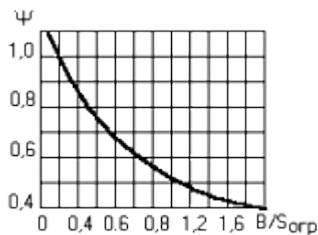


Рис. 3.9. Коэффициент нарушения диффузности звукового поля  $\psi$

о с несколькими источниками шума;

Октавные уровни звукового давления  $L_p$  в дБ в расчетных точках помещений, в которых находится **несколько источников шума**, рассчитываются:

а) в зоне прямого и отраженного звука по формуле

$$L_p = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^m \frac{10^{0,1L_{wi}} \chi_i \Phi_i}{S_i} + \frac{4\psi}{V} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{wi}} \right), \quad (3.16)$$

где  $L_{wi}$ ,  $\Phi_i$ ,  $\chi_i$ ,  $S_i$ ,  $V$ ,  $\psi$  – то же, что и в (3.12, 3.13, 3.14) для  $i$ -го источника шума;  $m$  – количество источников шума, ближайших к расчетной точке (т.е. источников шума, для которых  $r_i \leq 5 r_{\min}$ , где  $r_{\min}$  – расстояние в м от расчетной точки до акустического центра ближайшего к ней источника шума);  $n$  – общее количество источников шума в помещении с учетом среднего коэффициента одновременности работы оборудования.

Если все источники шума имеют одинаковую звуковую мощность и  $L_{Wi}=L_W$ , то без учета фактора направленности и искажения диффузности акустического поля в помещении упрощенно можно считать

$$L_p = L_W + 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \pi r_i^2} + \frac{4n}{B} \right),$$

б) в зоне отраженного звука по формуле:

$$L_p = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{Wi}} - 10 \lg B + 10 \lg \psi + 6. \quad (3.17)$$

о изолированном от источников шума;

Источники могут размещаться в смежном помещении, а шум проникать в изолируемое помещение через ограждающие конструкции. В этом случае ожидаемый уровень в расчетной точке определяется по формуле

$$L_p = L_{W\Sigma} - 10 \lg B_{ш} + 10 \lg S_{огр.к} - 10 \lg B_{и} - R_k + 10 \lg m + 6, \text{ дБ}, \quad (3)$$

где  $B_{ш}$  и  $B_{и}$  - соответственно постоянные шумного и изолируемого помещений,  $R_k$  - звукоизоляция ( $R = 10 \lg(1/\tau)$ ) - однотипных ограждающих конструкций, через которые шум проникает в изолируемое помещение, дБ;  $m$  - число однотипных ограждающих конструкций;  $S_{огр.к}$  - общая площадь однотипных ограждающих изолируемое помещение конструкций,  $m^2$  (например, общая площадь глухой части стены, суммарная площадь окон и т.д.).

Суммарный уровень звуковой мощности, излучаемой несколькими источниками, находящимися в шумном помещении, равен:

$$L_{W\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{Wi}}, \quad (3.18)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$  - количество источников. При наличии одного источника в шумном помещении  $L_{W\Sigma} = L_W$ .

• Расчет ожидаемых октавных уровней звукового давления при распространении звука в свободном пространстве.

Октавные уровни звукового давления  $L_p$  в дБ в расчетных точках, если источник шума и расчетные точки расположены на территории жилой застройки или на площадке предприятия, следует определять по формуле:

$$L_p = L + 10 \lg \Phi - 10 \lg(\Omega) - 20 \lg(r) - \beta r/1000, \quad (3.19)$$

где  $L_W$  - октавный уровень звуковой мощности источника шума, дБ;  $\Phi$  - фактор направленности;  $r$  - расстояние от источника шума до расчетной точки, м;  $\beta$  - коэффициент поглощения звука в воздухе при 20°C и относительной влажности 60% в дБ/м (значения



берутся из табл. 3.11; при  $r < 50$  м поглощение в воздухе не учитывается);  $\Omega$  – пространственный угол излучения звука (Пространственный угол  $\Omega$  для источника, находящегося в свободном пространстве равен  $4\pi$ ; для источников расположенных на поверхности территории или ограждающих конструкций зданий  $\Omega = 2\pi$ ; в двугранном угле, образованном названными поверхностями –  $\Omega = \pi$ ; в трехгранном угле –  $\Omega = \pi/2$ .)

Таблица 3.11

Коэффициент поглощения звука в воздухе  $\beta$

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\beta$ , дБ/м	0,3	1,1	2,8	5,2	9,6	25	83

**Расчет требуемого снижения уровней звукового давления.** Уровни звукового давления в расчетных точках не должны превосходить уровней, допустимых по нормам во всех октавных полосах со средними геометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Требуемое снижение уровней звукового давления определяется по формуле

$$\Delta L_{pi,pt} = L_{pi} - L_{pi,доп}, \text{ дБ},$$

где  $L_{pi,pt}$  – уровень звукового давления в  $i$ -ой октавной полосе, определяемый в расчетных точках проектируемого предприятия;  $L_{pi,доп}$  – уровень звукового давления в той же полосе частот согласно допустимым нормам, определяемый в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83.

### **ВОПРОСЫ К КР1**

1. Звук, основные параметры звука.
2. Что называется звуковым давлением ( $P_{зв}$ ).
3. Что такое интенсивность звука ( $Y$ ).
4. Определение стандартного порога слышимости.
5. Уровни акустических величин ( $L_p$ ;  $L_y$ ;  $L_w$ ).
6. Производственный шум, что это такое.
7. Октава, третьооктавная полоса частот, среднегеометрическая частота.
8. Звуковая полоса частот, деление шумов по частотной характеристике.
9. Источники производственного шума.
10. В каких случаях проводятся мероприятия по снижению шума.
11. Что в себя включает акустический расчет.

## 6. Практическое занятие

### Задача 1

Работают два одинаковых источника шума. Если их оба выключить, то уровень шума в определенной точке помещения составит 60 дБА. Если их оба включить, то уровень шума в помещении составит 65 дБА.

Чему будет равен уровень шума в помещении, если включить только один источник шума?

**Решение:**

*Введем следующие обозначения:*

$L_{\Pi} = 60$  дБА - уровень шума в помещении при выключенных источниках шума;

$L_x$  - уровень шума одного из одинаковых источников;

$L_{\Sigma} = 65$  дБА- уровень шума в помещении, если включены оба источника;

$L_{\Sigma 1}$  - уровень шума в помещении, если включен один источник.

Тогда согласно формуле (3.7) :

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \right),$$

$$L_{\Sigma} = 10 \lg(10^{0,1 L_{\Pi}} + 2 \cdot 10^{0,1 L_x}) = 10 \lg(10^{0,1 \cdot 60} + 2 \cdot 10^{0,1 L_x}) = 10 \lg(10^6 + 2 \cdot 10^{0,1 L_x}) = 65.$$

С учетом того, что 
$$L_{\Sigma} = 10 \lg(10^{0,1 L_{\Sigma}}) = 10 \lg(10^{0,1 \cdot 65}),$$

получаем 
$$10^6 + 2 \cdot 10^{0,1 L_x} = 10^{6,5}.$$

Отсюда определяем уровень шума одного источника

$$L_x = 60 + 10 \lg \left( (10^{0,5} - 1) / 2 \right) \approx 60 \text{ дБА.}$$

Таким образом, если рассматривать само помещение как третий источник шума, то получаем три источника с одинаковым уровнем шума.

Тогда при включении одного источника в помещении суммарный уровень шума по (3.8)

$L_{\Sigma} = L + 10 \lg n$ . будет:

$$L_{\Sigma} = 60 + 10 \lg 2 \approx 63 \text{ дБА.}$$

Ответ задачи: 63 дБА.

## Задача 2

В цехе находятся 3 источника шума, создающие на рабочем месте интенсивность соответственно 60, 60 и 85 дБА.

Чему равен уровень шума в цехе, если все три источника работают одновременно? (Внешними шумами пренебречь.)

**Решение:**

Согласно формуле (3.7)

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \right),$$

суммарный уровень шума определяется как:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^3 10^{0,1 L_i} = 10 \lg (2 \cdot 10^{0,1 \cdot 60} + 10^{0,1 \cdot 85}) = 60 + 25 = 85 \text{ дБА.}$$

Ответ задачи: 85 дБА.

## Задача 3

Определить ожидаемый уровень звукового давления в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 500 Гц, создаваемый при работе станка, на рабочем месте в производственном помещении.

Уровень звуковой мощности станка в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 500 Гц составляет 105 дБ.

Расстояние от источника шума до расчетной точки  $r = 5$  м.

Размеры помещения:  $a = 20$  м,  $b = 5$  м,  $c = 5$  м.

Полученное значение уровня звукового давления сравнить с допустимым значением для постоянных рабочих мест и рабочих зон в производственных помещениях по ГОСТ 12.1.003-83 и определить требуемое снижение шума.

### Решение:

Исходя из объема помещения, найдем  $B_{1000}$  - постоянную помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, которая рассчитывается в зависимости от объема и типа помещения.

$$B_{1000} = V/20 = a*b*c / 20 = 500/20 = 25 \text{ м}^2.$$

Для определения постоянной помещения В на частоте 500 Гц по табл. 3.10

Таблица 3.10

Объем помещения, м <sup>3</sup>	Среднегеометрическая частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$V \ll 200$	0,8	0,75	0,7	0,8	1,0	1,4	1,8	2,5
<b><math>V = 200 \div 1000</math></b>	0,65	0,62	0,64	<b>0,75</b>	1,0	1,5	2,4	4,2
$V \gg 1000$	0,5	0,5	0,55	0,7	1,0	1,6	3,0	6,0

находим частотный множитель  $\mu = 0,75$  и рассчитываем

$$B_{500} = B_{1000} * 0,75 = 18,75 \text{ м}^2.$$

Применяя формулу 3.12

$$L_p = L_W + 10 \lg \left( \frac{\chi \Phi}{S} + \frac{4\psi}{B} \right),$$

без учета фактора направленности шума и нарушений акустической диффузности звукового поля в помещении ( $\Phi=1, \chi=1, \psi=1$ ), получим:

$$L = 105 + 10 \lg \left( \frac{1}{2\pi 5^2} + \frac{4}{18,5} \right) = 98,4 \text{ дБ}.$$

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 в нашем случае допустимый уровень звукового давления на частоте 500 Гц составляет 83 Гц, следовательно требуемое снижение шума  $\Delta L = 15,4$  дБ.

Ответ задачи:  $L_{500} = 98,4$  дБ, необходимое снижение шума  $\Delta L = 15,4$  дБ.

### Задача 4

Рассчитать ожидаемый суммарный уровень звукового давления, создаваемого точечным источником в расчетной точке на расстоянии  $r = 5$  м от центра источника.

Источник расположен в свободном пространстве (находится на некоторой высоте над поверхностью земли).

Значения уровня звуковой мощности источника в октавных полосах частот приведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L$ , дБ	87	90	92	91	87	82	80

### Решение:

Поскольку источник расположен в свободном пространстве, пространственный угол распространения его звука  $\Omega = 4\pi$ .

Коэффициент поглощения звука в воздухе  $\beta$  выбирается в зависимости от частоты по табл. 3.11.

Таблица 3.11

### Коэффициент поглощения звука в воздухе $\beta$

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\beta$ , дБ/м	0,3	1,1	2,8	5,2	9,6	25	83

Но поскольку в данном случае  $r < 50$  м, поглощение в воздухе не учитывается.

Так как источник точечный, то фактор направленности звука не учитывается ( $\Phi = 1$ ).

Тогда уровень звукового давления, создаваемый источником в расчетной точке, на частоте 125 Гц можно определить по формуле (3.19)

$$L_p = L + 10 \lg \Phi - 10 \lg(\Omega) - 20 \lg(r) - \beta r / 1000,$$

следующим образом:

$$L_p = L + 10 \lg \Phi - 10 \lg(\Omega) - 20 \lg(r) - \beta r / 1000 = 87 + 10 \cdot 0 - 10 \lg(4\pi) - 20 \lg(5) =$$

$$= 87 - 10 \cdot 1,1 - 20 \cdot 0,7 = 62 \text{ дБ.}$$

Аналогично вычисляются уровни звукового давления на остальных частотах. В итоге получаем спектр шума в расчетной точке, представленный в табл. 3.13.

Таблица 3.13

$f$ , Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_p$ , дБ	62	65	67	66	62	57	55

Используя формулу для  $n$ -го количества чистых тонов с разными частотами, найдем суммарный уровень звукового давления:

$$L_{p\Sigma} = 10 \lg(10^{0,1 \cdot L_{p125}} + 10^{0,1 \cdot L_{p250}} + 10^{0,1 \cdot L_{p500}} + \dots + 10^{0,1 \cdot L_{p8000}}) =$$

$$= 10 \lg(10^{6,2} + 10^{6,5} + 10^{6,7} + 10^{6,6} + 10^{6,2} + 10^{5,7} + 10^{5,5}) = 72,1 \text{ дБ.}$$

Ответ задачи: Уровень звукового давления в расчетной точке составляет 72,1 дБ.

### Задача 5

Уровень шума на рабочем месте в производственном помещении составляет 60 дБ. Включили еще два источника шума, создающие на рабочем месте уровень шума по 60 дБ каждый.

Определите, каким стал уровень шума в помещении?

### Решение:

*Введем следующие обозначения:*

$L_n = 60$  дБА - уровень шума в помещении при выключенных источниках шума;

$L_x = 60$  дБА - уровень шума одного из одинаковых источников;

$L_\Sigma$  - уровень шума в помещении, если включены оба источника;

Если рассматривать само помещение как третий источник шума, то получаем три источника с одинаковым уровнем шума  $L = 60$  дБА.

Тогда согласно формуле (3.8) ( $L_\Sigma = L + 10 \lg(n)$ , где  $n$  – число источников с уровнем шума  $L$ ):

$$L_\Sigma = 60 + 10 \lg(3) = 65 \text{ дБА}$$

**Ответ задачи:** 65 дБА.

### Задача 6

Включено два одинаковых источника шума. При этом уровень шума в помещении составляет 0 дБ. Чему будет равен уровень шума, если выключить один из источников, и какова будет интенсивность шума? (Внешними шумами пренебречь.)

### Решение:

*Введем следующие обозначения:*

$L_n$  - уровень шума, создаваемый каждым из источников;

$L_\Sigma = 0$  дБА - уровень шума в помещении, если включены оба источника;

$L_{\Sigma 1}$  - уровень шума в помещении, если один из источников;

Имеем 2 источника с одинаковым уровнем шума, тогда согласно формуле (3.8)

$$L_{\Sigma} = L + 10 \lg(n),$$

где  $n$  – число источников с уровнем шума  $L$ :

$$L_{\Sigma} = L_n + 10 \lg(2) = L_n + 3 = 0 \text{ дБА}$$

Отсюда получаем, что  $L_n = -3$  дБА.

По формуле (3.8)

$$L_{\Sigma 1} = L_n + 10 \lg(1) = L_n + 0 = -3 \text{ дБА}$$

Найдём интенсивность шума по формуле (3.6, б):

$$I = I_0 * 10^{0,1 L_i}, \quad \text{где } I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$$

$$I = I_0 * 10^{-0,3} = 0,5 * 10^{-12} \text{ Вт/м}^2.$$

**Ответ задачи:** -3 дБА;  $0,5 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ .

### Задача 7

В цехе находятся 5 источников шума, создающие на рабочем месте уровень шума соответственно 60, 60, 63, 66 и 69 дБ.

Чему равен уровень шума в цехе, если все источники работают одновременно? (Внешними шумами пренебречь.)

### Решение:

Введем следующие обозначения:

$L_1 = 60$  дБА,  $L_2 = 60$  дБА,  $L_3 = 63$  дБА,  $L_4 = 66$  дБА,  $L_5 = 69$  дБА - уровень шума, создаваемый каждым из источников;

$L_{\Sigma}$  - уровень шума в помещении, если включены все источники;

Согласно формуле (3.7)

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \right),$$

суммарный уровень шума определяется как

$$L_{\Sigma} = 10 \lg(10^{0,1 \cdot L_1} + 10^{0,1 \cdot L_2} + 10^{0,1 \cdot L_3} + 10^{0,1 \cdot L_4} + 10^{0,1 \cdot L_5}) = 10 \lg(10^6 + 10^6 + 10^{6,3} + 10^{6,6} + 10^{6,9}) = 72 \text{ дБА}$$

**Ответ задачи:** 72 дБ.

## Задача 8

Определить ожидаемый уровень звукового давления в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 250 Гц, создаваемый при работе станка, на рабочем месте в производственном помещении.

Уровень звуковой мощности станка в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 250 Гц составляет 102 дБ.

Расстояние от источника шума до расчетной точки  $r = 5$  м.

Размеры помещения:  $a = 20$  м,  $b = 5$  м,  $c = 5$  м.

Фактор направленности шума и искажение диффузности акустического поля не учитывать.

Полученное значение уровня звукового давления сравнить с допустимым значением для постоянных рабочих мест и рабочих зон в производственных помещениях по [ГОСТ 12.1.003-83](#) и определить требуемое снижение шума.

**Решение:**

$$L_W = 102 \text{ дБ}, r = 5 \text{ м.}$$

Исходя из объема помещения, найдем  $B_{1000}$  - постоянную помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, которая рассчитывается в зависимости от объема и типа помещения.

$$V = a \cdot b \cdot c = 20 \cdot 5 \cdot 5 = 500 \text{ м}^3.$$

$$B_{1000} = V/20 = 500/20 = 25 \text{ м}^2.$$

Для определения [постоянной помещения B](#) на частоте 250 Гц [по табл. 3.10](#) находим

Объем помещения, м <sup>3</sup>	Среднегеометрическая частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$V \ll 200$	0,8	0,75	0,7	0,8	1,0	1,4	1,8	2,5
$V = 200 \div 1000$	0,65	0,62	<u>0,64</u>	0,75	1,0	1,5	2,4	4,2
$V \gg 1000$	0,5	0,5	0,55	0,7	1,0	1,6	3,0	6,0

частотный множитель  $\mu = 0,64$  и рассчитываем



$$B_{500} = B_{1000} * 0,64 = 16 \text{ м}^2.$$

Применяя формулу 3.12

$$L_p = L_W + 10 \lg \left( \frac{\chi \Phi}{S} + \frac{4\psi}{B} \right),$$

без учета фактора направленности шума и нарушений акустической диффузности звукового поля в помещении ( $\Phi=1, \chi=1, \psi=1$ ), получим

$$L_p = 102 + 10 \lg \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{B_{250}} \right) = 102 + 10 \lg \left( \frac{1}{4\pi 5^2} + \frac{4}{16} \right) = 96,1 \text{ дБ}$$

Согласно [ГОСТ 12.1.003-83](#) в нашем случае допустимый уровень звукового давления на частоте 250 Гц составляет из таблицы

Рабочее место	Уровень звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука, дБА, эквивалентный уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Помещения КБ, расчетчиков, программистов вычислительных машин, лабораторий для теоретических работ и обработки экспериментальных данных, приема больных здравпунктов	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2. Помещения управлений (рабочие комнаты)	79	70	68	58	52	52	50	49	60
3а. Кабины наблюдений и дистанционного управления без речевой связи по телефону	94	87	82	78	75	73	71	70	80
3б. Кабины наблюдений и дистанционного управления с речевой связью по телефону	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4. Помещения и участки точной сборки, маш.бюро	83	74	68	63	60	57	55	54	65
5. Помещения	94	87	82	78	75	73	71	70	80

лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для размещения шумных агрегатов вычислительных машин									
6. Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий, рабочие места водителя и обслуживающего персонала грузового автотранспорта, тракторов и др. аналогичных машин	99	92	<u>86</u>	83	80	78	76	74	85

$$L_n = 86 \text{ дБ}$$

Следовательно: требуемое снижение шума

$$\Delta L = L_p - L_n = 96,1 - 86 = 10,1 \text{ дБ}$$

Ответ задачи:  $L_p = 96,1 \text{ дБ}$ ;  $\Delta L = 10,1 \text{ дБ}$ .

## Задача 12

Определить ожидаемый уровень звукового давления в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 125 Гц, который создаст точечный источник в расчетной точке на расстоянии  $r = 10$  м от его центра.

Источник расположен на некоторой высоте над поверхностью земли.

Уровень звуковой мощности источника в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 125 Гц составляет 87 дБ.

### Решение:

$$L = 87 \text{ дБ.}$$

Поскольку источник расположен в свободном пространстве, пространственный угол распространения его звука  $\Omega = 4\pi$ .

Коэффициент поглощения звука в воздухе  $\beta$  выбирается в зависимости от частоты по [табл. 3.11](#). Но поскольку в данном случае  $r = 10 \text{ м} < 50 \text{ м}$ , поглощение в воздухе не учитывается.  $\beta = 0$ .

Так как источник точечный, то фактор направленности звука не учитывается ( $\Phi = 1$ ).

Тогда уровень звукового давления, создаваемый источником в расчетной точке, на частоте 125 Гц можно определить по формуле

$$L_p = L + 10 \lg \Phi - 10 \lg(\Omega) - 20 \lg(r) - \beta r/1000 \quad (3.19),$$

Которая в данных условиях принимает вид:

$$L_p = L + 10 \lg \Phi - 10 \lg(\Omega) - 20 \lg(r) - \beta r/1000 = 87 + 10 \lg(1) - 10 \lg(4\pi) - 20 \lg(10) - 0 \cdot 10/1000 \\ = 87 - 10 \cdot 1,1 - 20 \cdot 1 = 87 - 11 - 20 = 56 \text{ дБ.}$$

**Ответ задачи:** 56 дБ.

## 4. Расчетное задание

В соответствии с выбранным (или заданным преподавателем) по табл. 3.14 вариантом выполнить акустический расчет в расчетной точке, расположенной на рабочем месте в производственном помещении с несколькими источниками шума.

Характеристика помещения, количество источников и расстояния от акустического центра источников до расчетной точки приведены в табл. 3.14.

Спектр шума, создаваемого источниками, задан в табл. 3.15.

При расчете источники шума считать точечными, фактор направленности излучения шума и искажение диффузности звукового поля не учитывать ( $\Phi=1$ ,  $\psi=1$ ).

Результаты акустического расчета свести в таблицу, форма которой представлена в табл. 3.16.

**Таблица 3.14**

**Варианты расчетного задания**

№ варианта задания	Производственное помещение	Размеры помещения			Количество источников шума	Источники шума	Расстояние от центра $i$ -го источника до расчетной точки			
		Длина $a$ , м	Ширина $b$ , м	Высота $c$ , м			$r_1$ , м	$r_{2,M}$	$r_{3,M}$	$r_{4,M}$
1	Цех механической обработки деталей	20	5	5	3	1- токарный станок 1К36; 2- токарный станок 1А62; 3- штамповочный автомат АТ60	1	5	4	-
2	Штамповочный цех	25	6	5	3	1- штамповочный автомат АТ60; 2- штамповочный автомат АТ60; 3- пресс К222	2	5	7	-
3	Мастерская	15	5	3	3	1- токарный станок 1К36; 2- токарный станок 1А62; 3- пресс К222	4	3	5	-
4	Конструкторское бюро	10	5	3	4	1- ПЭВМ Compaq; 2- ПЭВМ Samsung; 3- принтер DeskJet 820 Cxi; 4 - плоттер HP DesignJet 10 PS A3+	0,7	2	3	3
5	Комната программистов	5	3	3	4	1- ПЭВМ Compaq; 2- ПЭВМ Samsung; 3- принтер DeskJet 820 Cxi; 4- принтер DeskJet 820 Cxi	3	0,8	1	3
6	Экспериментальная лаборатория	4	5	4	3	1- ПЭВМ Compaq; 2- ПЭВМ Samsung; 3- принтер DeskJet 820 Cxi;	3	5	3	-
7	Комната менеджеров	5	5	3	4	1- ПЭВМ Compaq; 2- ПЭВМ Samsung; 3- принтер DeskJet 820 Cxi; 4- ксерокс Xerox 5310	4	1	3	3

8	Бухгалтерия	5	6	4	4	1- ПЭВМ Compaq; 2- ПЭВМ Samsung;3- принтер DeskJet 820 Cxi; 4- ксерокс Xerox 5310	3	5	4	2
9	Научно- исследовательская лаборатория	4	3	3	3	1- ПЭВМ Compaq; 2- ПЭВМ Samsung;3- принтер DeskJet 820 Cxi	3	1	3	-
10	Читальный зал библиотеки	6	8	3	4	1- ПЭВМ Compaq; 2- ПЭВМ Samsung;3- ПЭВМ Compaq; 4- ПЭВМ Samsung	5	3	6	3

Таблица 3.15

#### Октавные уровни звуковой мощности $L_w$ источников шума

Октавные полосы со среднегеометрическими частотами $f$ , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_w$ штамповочного автомата AT60, дБ	98	102	102	105	101	99	92	92
$L_w$ прессы K222, дБ	106	103	102	101	102	102	98	89
$L_w$ токарного станка 1K36, дБ	96	94	95	98	93	90	90	86
$L_w$ токарного станка 1A62, дБ	84	87	90	92	91	87	82	80
$L_w$ ПЭВМ Compaq, дБ	40	59	42	42	43	41	39	36
$L_w$ ПЭВМ Samsung, дБ	56	51	39	39	42	40	33	34
$L_w$ принтера DeskJet 820 Cxi, дБ	50	59	44	45	46	40	36	35
$L_w$ плоттера HP DesignJet 10 PS A3+, дБ	60	57	50	42	47	43	41	39
$L_w$ ксерокса Xerox 5310, дБ	60	55	45	47	48	39	40	41

Таблица 3.16

#### Результаты акустического расчета (вариант №...)

Исходные данные и результаты расчета	Октавные полосы со среднегеометрическими частотами $f$ , Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_w$ , дБ, источника шума 1, $r_1 = \dots$ м	...	...	...	...	...	...	...	...
$L_w$ источника шума 2, $r_2 = \dots$ м	...	...	...	...	...	...	...	...
$L_w$ , дБ, источника шума 3, $r_3 = \dots$ м	...	...	...	...	...	...	...	...
$L_w$ , дБ, источника шума 4, $r_4 = \dots$ м	...	...	...	...	...	...	...	...
Постоянная помещения $B$ , $m^2$	...	...	...	...	...	...	...	...

Ожидаемый уровень звукового давления в расчетной точке $L_p$ , дБ	...	...	...	...	...	...	...	...
Допустимый уровень звукового давления на рабочем месте $L_{p \text{ доп}}$ , дБ	...	...	...	...	...	...	...	...
Требуемое снижение шума $\Delta L$ , дБ	...	...	...	...	...	...	...	...
Предлагаемые акустические мероприятия (если нужно)	...							

### Задача 7

Уровень шума на рабочем месте в производственном помещении составляет 60 дБ. Включили еще два источника шума, создающие на рабочем месте уровень шума по 60 дБ каждый.

Определите, каким стал уровень шума в помещении?

#### Решение:

Введем следующие обозначения:

$L_n = 60$  дБА - уровень шума в помещении при выключенных источниках шума;

$L_x = 60$  дБА - уровень шума одного из одинаковых источников;

$L_{\Sigma}$  - уровень шума в помещении, если включены оба источника;

Если рассматривать само помещение как третий источник шума, то получаем три источника с одинаковым уровнем шума  $L = 60$  дБА.

Тогда согласно формуле (3.8) ( $L_{\Sigma} = L + 10\lg(n)$ , где  $n$  – число источников с уровнем шума  $L$ ):

$$L_{\Sigma} = 60 + 10\lg(3) = 65 \text{ дБА}$$

**Ответ задачи:** 65 дБА.

### Задача 8

Включено два одинаковых источника шума. При этом уровень шума в помещении составляет 0 дБ. Чему будет равен уровень шума, если выключить один из источников, и какова будет интенсивность шума? (Внешними шумами пренебречь.)

#### Решение:

*Введем следующие обозначения:*

$L_{\text{и}}$  - уровень шума, создаваемый каждым из источников;

$L_{\Sigma} = 0$  дБА - уровень шума в помещении, если включены оба источника;

$L_{\Sigma 1}$  - уровень шума в помещении, если один из источников;

Имеем 2 источника с одинаковым уровнем шума, тогда согласно формуле (3.8) ( $L_{\Sigma} = L + 10\lg(n)$ ), где  $n$  – число источников с уровнем шума  $L$ ):

$$L_{\Sigma} = L_{\text{и}} + 10\lg(2) = L_{\text{и}} + 3 = 0 \text{ дБА}$$

Отсюда получаем, что  $L_{\text{и}} = -3$  дБА.

По формуле (3.8)  $L_{\Sigma 1} = L_{\text{и}} + 10\lg(1) = L_{\text{и}} + 0 = -3$  дБА

Найдём интенсивность шума по формуле (3.6, б) ( $I = I_0 * 10^{0,1 L_i}$ , где  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>)

$$I = I_0 * 10^{-0,3} = 0,5 * 10^{-12} \text{ Вт/м}^2.$$

**Ответ задачи:** -3 дБА;  $0,5 * 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>.

## Задача 9

В цехе находятся 5 источников шума, создающие на рабочем месте уровень шума соответственно 60, 60, 63, 66 и 69 дБ.

Чему равен уровень шума в цехе, если все источники работают одновременно? (Внешними шумами пренебречь.)

### Решение:

*Введем следующие обозначения:*

$L_1 = 60$  дБА,  $L_2 = 60$  дБА,  $L_3 = 63$  дБА,  $L_4 = 66$  дБА,  $L_5 = 69$  дБА - уровень шума, создаваемый каждым из источников;

$L_{\Sigma}$  - уровень шума в помещении, если включены все источники;

Согласно формуле (3.7) суммарный уровень шума определяется как

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right)$$

$$L_{\Sigma} = 10 \lg(10^{0,1 \cdot L_1} + 10^{0,1 \cdot L_2} + 10^{0,1 \cdot L_3} + 10^{0,1 \cdot L_4} + 10^{0,1 \cdot L_5}) = 10 \lg(10^6 + 10^6 + 10^{6,3} + 10^{6,6} + 10^{6,9}) = 72 \text{ дБА}$$

**Ответ задачи:** 72 дБ.

### Задача 11

Определить ожидаемый уровень звукового давления в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 250 Гц, создаваемый при работе станка, на рабочем месте в производственном помещении.

Уровень звуковой мощности станка в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 250 Гц составляет 102 дБ.

Расстояние от источника шума до расчетной точки  $r = 5$  м.

Размеры помещения:  $a = 20$  м,  $b = 5$  м,  $c = 5$  м.

Фактор направленности шума и искажение диффузности акустического поля не учитывать.

Полученное значение уровня звукового давления сравнить с допустимым значением для постоянных рабочих мест и рабочих зон в производственных помещениях по [ГОСТ 12.1.003-83](#) и определить требуемое снижение шума.

**Решение:**

$$L_W = 102 \text{ дБ}, r = 5 \text{ м.}$$

Исходя из объема помещения, найдем  $B_{1000}$  - постоянную помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц, которая рассчитывается в зависимости от объема и типа помещения.

$$V = a \cdot b \cdot c = 20 \cdot 5 \cdot 5 = 500 \text{ м}^3.$$

$$B_{1000} = V/20 = 500/20 = 25 \text{ м}^2.$$

Для определения [постоянной помещения B](#) на частоте 250 Гц [по табл. 3.10](#) находим

Объем помещения, м <sup>3</sup>	Среднегеометрическая частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$V \ll 200$	0,8	0,75	0,7	0,8	1,0	1,4	1,8	2,5
$V = 200 \div 1000$	0,65	0,62	0,64	0,75	1,0	1,5	2,4	4,2
$V \gg 1000$	0,5	0,5	0,55	0,7	1,0	1,6	3,0	6,0

частотный множитель  $\mu = 0,64$  и рассчитываем

$$B_{500} = B_{1000} \cdot 0,64 = 16 \text{ м}^2.$$



Применяя формулу

$$L_p = L_W + 10 \lg \left( \frac{\chi \Phi}{S} + \frac{4\psi}{B} \right), \quad 3.12$$

без учета фактора направленности шума и нарушений акустической диффузности звукового поля в помещении ( $\Phi=1, \chi=1, \psi=1$ ), получим

$$L_p = 102 + 10 \lg \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{B_{250}} \right) = 102 + 10 \lg \left( \frac{1}{4\pi 5^2} + \frac{4}{16} \right) = 96,1 \text{ дБ}$$

Согласно [ГОСТ 12.1.003-83](#) в нашем случае допустимый уровень звукового давления на частоте 250 Гц составляет из таблицы

Рабочее место	Уровень звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука, дБА, эквивалентный уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Помещения КБ, расчетчиков, программистов вычислительных машин, лабораторий для теоретических работ и обработки экспериментальных данных, приема больных здравпунктов	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2. Помещения управлений (рабочие комнаты)	79	70	68	58	52	52	50	49	60
3а. Кабины наблюдений и дистанционного управления без речевой связи по телефону	94	87	82	78	75	73	71	70	80
3б. Кабины наблюдений и дистанционного управления с речевой связью по телефону	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4. Помещения и участки точной сборки, маш.бюро	83	74	68	63	60	57	55	54	65
5. Помещения лабораторий для проведения	94	87	82	78	75	73	71	70	80

экспериментальны х работ, помещения для размещения шумн ых агрегатов вычисли тельных машин									
6. Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий, рабочие места водителя и обслу живающего персонала грузо вого автотранспорта, тракторов и др. аналогичных машин	99	92	<u>86</u>	83	80	78	76	74	85

$$L_n = 86 \text{ дБ}$$

следовательно требуемое снижение шума

$$\Delta L = L_p - L_n = 96,1 - 86 = 10,1 \text{ дБ}$$

Ответ задачи:  $L_p = 96,1 \text{ дБ}$ ;  $\Delta L = 10,1 \text{ дБ}$ .

## Задача 12

Определить ожидаемый уровень звукового давления в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 125 Гц, который создаст точечный источник в расчетной точке на расстоянии  $r = 10$  м от его центра.

Источник расположен на некоторой высоте над поверхностью земли.

Уровень звуковой мощности источника в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 125 Гц составляет 87 дБ.

### Решение:

$$L = 87 \text{ дБ.}$$

Поскольку источник расположен в свободном пространстве, пространственный угол распространения его звука  $\Omega = 4\pi$ .

Коэффициент поглощения звука в воздухе  $\beta$  выбирается в зависимости от частоты по [табл. 3.11](#). Но поскольку в данном случае  $r = 10 \text{ м} < 50 \text{ м}$ , поглощение в воздухе не учитывается.  $\beta = 0$ .

Так как источник точечный, то фактор направленности звука не учитывается ( $\Phi = 1$ ).

Тогда уровень звукового давления, создаваемый источником в расчетной точке, на частоте 125 Гц можно определить по формуле

$$L_p = L + 10 \lg \Phi - 10 \lg(\Omega) - 20 \lg(r) - \beta r/1000 \quad (3.19),$$

Которая в данных условиях принимает вид:

$$L_p = L + 10 \lg \Phi - 10 \lg(\Omega) - 20 \lg(r) - \beta r/1000 = 87 + 10 \lg(1) - 10 \lg(4\pi) - 20 \lg(10) - 0 \cdot 10/1000 \\ = 87 - 10 \cdot 1,1 - 20 \cdot 1 = 87 - 11 - 20 = 56 \text{ дБ.}$$

**Ответ задачи:** 56 дБ.