

СПРАВОЧНИК ПРОЕКТИРОВЩИКА ЗАЩИТА ОТ ШУМА

Под редакцией д-ра техн. наук,
проф. Е. Я. Юдина

*Рассмотрено и одобрено
секцией архитектурно-строительной акустики
Ученого Совета НИИ Строительной физики*



МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ
1974

Научный редактор
д-р техн. наук С. Д. КОВРИГИН

Авторы: Е. Я. Юдин, В. Н. Никольский, И. Д. Рассадина,
Г. Л. Осипов, Л. А. Борисов, Э. А. Лесков, А. С. Погадин,
В. Н. Сухов, А. С. Терехин, Н. Б. Титова

Справочник проектировщика. Защита от шума. Под ред.
Е. Я. Юдина. М., Стройиздат, 1974. 134 с. Авт.: Е. Я. Юдин,
И. Д. Рассадина, В. Н. Никольский и др.

В книге излагается комплекс вопросов по борьбе с шумом в гражданских и промышленных зданиях. Приводятся нормативные требования к допустимым уровням шума, подробно излагаются вопросы расчета и конструирования звукоизоляции ограждающих конструкций зданий; даны методы снижения производственного шума средствами звукопоглощения, а также акустический расчет вентиляционных и газодинамических установок и сведения по расчету и конструированию глушителей шума. Приведены рекомендации по применению звукопоглощающих материалов и конструкций.

Книга предназначена для широкого круга инженеров-строителей, проектировщиков и производителей, а также преподавателей и студентов строительных специальностей.

Табл. 132, ил. 115, список лит.: 42 назв.

© Стройиздат, 1974

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема борьбы с шумом, особенно в последнее десятилетие, стала одной из актуальнейших задач. Снижение уровней шумов обычно сопряжено с техническими трудностями и денежными затратами, даже если необходимые мероприятия по снижению шума предусматриваются на ранней стадии проектирования.

Чтобы проектные решения, обеспечивающие необходимое снижение шума, были технически правильными и экономичными, они должны быть обоснованы акустическими расчетами.

В справочнике обобщен опыт акустического проектирования мероприятий по шумоглушению при разработке объектов гражданского и промышленного назначения.

Справочник предназначен для использования при строительном проектировании.

Вопросы борьбы с шумом в источниках его возникновения подробно не рассматриваются, поскольку они относятся к компетенции конструкторов и технологов, создающих то или иное оборудование и машины. Проектировщик должен уметь грамотно сформулировать требования, обеспечивающие снижение шума машин и оборудования до уровня нормативных требований с тем, чтобы снизить стоимость строительного-акустических мероприятий по шумоглушению. Соответствующие рекомендации приведены в справочнике.

Книга является коллективным трудом. Глава 1 написана Е. Я. Юдиным; глава 2 — Г. Л. Осяповым, И. Д. Рассединой и Е. Я. Юдиным; глава 3 — В. И. Никольским, И. Д. Рассединой, А. С. Погодиным и В. Н. Суховым; глава 4 — Л. А. Борисовым и И. Д. Рассединой; глава 5 — Э. А. Лесковым, И. Д. Рассединой, А. С. Терехиным и Е. Я. Юдиным; глава 6 — И. Д. Рассединой и Н. Б. Титовой; глава 7 — И. Д. Рассединой, И. Б. Титовой и Е. Я. Юдиным; глава 8 — А. С. Погодиным Л. А. Борисовым.

1.1. ЗВУК, ШУМ

1.1.1. Звук как физическое явление представляет собой волновое движение упругой среды; как физиологическое явление он определяется ощущением, воспринимаемым органом слуха при воздействии звуковых волн в диапазоне частот 16—20 000 Гц.

1.1.2. Звуковая волна характеризуется звуковым давлением p , Н/м², колебательной скоростью v , м/сек, интенсивностью I , Вт/м². Связь между физическими величинами в бегущей волне дается соотношениями:

$$p = Wv; I = \overline{pv} = \frac{\overline{p^2}}{W} = v^2 W, \quad (1.1)$$

где W — волновое сопротивление среды, для свободной атмосферы равное ρc (ρ — плотность среды, кг/м³; c — скорость звука, м/сек); черта означает осреднение во времени.

Шум — всякого рода звуки, мешающие восприятию полезных звуков или нарушающие тишину, а также звука, оказывающие вредное или раздражающее действие на организм человека.

Воздушный звук — звук, распространяющийся по воздуху, структурный звук — распространяющийся в инженерных конструкциях. Звуки, вызываемые ходьбой, передвижением мебели и т. п., называют ударным шумом.

В качестве основной величины, участвующей в нормировании шума и в расчетах по шумоглушению, принимают звуковое давление p и его уровень L в децибелах.

1.1.3. Звуковое давление p — разность между мгновенным значением полного давления и средним давлением, которое наблюдается в среде при отсутствии звукового поля.

Звуковое давление измеряют в Па (Н/м²), уровень звукового давления — в дБ.

Уровень звукового давления определяют по формуле

$$L = 20 \lg \frac{p_{\text{ср}}}{p_0} \text{ дБ}, \quad (1.2)$$

где $p_{\text{ср}}$ — среднеквадратичное значение звукового давления в точке измерения в Па (Н/м²); p_0 — пороговая величина звукового давления, равная $2 \cdot 10^{-5}$ Па (Н/м²).

Среднеквадратичное значение звукового давления определяется через мгновенные значения:

$$p_{\text{ср}} = \sqrt{\overline{p^2}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2 dt}, \quad (1.3)$$

где t — текущее время, с; T — период усреднения, с; в математической теории $T \rightarrow \infty$; в практических вопросах борьбы с шумом $T = 50 \div 100$ мс.

1.2. СПЕКТР ШУМА

1.2.1. Любую зависимость какой-либо физической величины (например, звукового давления) от времени можно представить в виде суммы конечного или бесконечного числа простых синусоидальных колебаний этой величины.

Каждое такое простое колебание характеризуется своим среднеквадратичным значением физической величины и частотой, т. е. числом колебаний в секунду.

Единица частоты колебаний — Герц (Гц); одно колебание в секунду — 1 Гц.

Зависимость среднеквадратичных значений этих синусоидальных составляющих (или соответствующих им уровней в децибелах) от частоты называется частотным спектром (или просто спектром) данной физической величины.

1.2.2. Во всех рассматриваемых в этой книге вопросах защиты от шума можно считать, что средний квадрат звукового давления равен сумме средних квадратов спектральных составляющих:

$$\overline{p^2} = \overline{p_1^2} + \overline{p_2^2} + \dots + \overline{p_n^2}. \quad (1.4)$$

В случае сплошного спектра, характеризующего случайные шумы, число составляющих $n \rightarrow \infty$. Когда говорят о спектре, необходимо указывать ширину частотных полос, в которых производится определение спектра.

1.2.3. Чаще всего применяются октавные и третьоктавные полосы. Октавная полоса — полоса частот, в которой верхняя граничная частота в два раза больше нижней. Третьоктавная полоса частот — полоса частот, в которой это соотношение равно 1,26.

Среднегеометрическая частота полосы

$$f_{\text{ср}} = \sqrt[3]{f_1 f_2}, \quad (1.5)$$

где f_1 — нижняя граничная частота, Гц; f_2 — верхняя граничная частота, Гц.

Понятие спектра используется здесь как зависимость уровней составляющих рассматриваемой величины (например, звукового давления) в децибелах, взятых в октавных или третьоктавных полосах частот, от среднегеометрических частот этих полос.

Спектр представляется либо в виде таблицы, либо в виде графика.

В табл. 1.1 даны значения граничных и средних частот стандартных октавных и третьоктавных полос.

Характер спектра может быть низкочастотным, среднечастотным и высокочастотным:

низкочастотный — спектр шума с максимумом звукового давления в области частот ниже 300 Гц;

среднечастотный — спектр шума с максимумом звукового давления в области частот 300—800 Гц;

высокочастотный — спектр шума с максимумом звукового давления в области частот выше 800 Гц.

Таблица 1.1.

Граничные частоты и среднегеометрические частоты октавных и третьоктавных полос

Частоты, Гц			
границы для полос		среднегеометрические для полос	
октавных	третьоктавных	октавных	третьоктавных
45—90	45—56 56—71 71—90	63	50 63 80
90—180	90—112 112—140 140—180	125	100 125 160
180—355	180—224 224—280 280—355	250	200 250 315
355—710	355—450 450—560 560—710	500	400 500 630
710—1400	710—900 900—1120 1120—1400	1000	800 1000 1250
1400—2800	1400—1800 1800—2240 2240—2800	2000	1600 2000 2500
2800—5600	2800—3540 3540—4500 4500—5600	4000	3150 4000 5000
5600—11 200	5600—7100 7100—9000 9000—11 200	8000	6300, 8000, 10 000

1.3. НОРМАТИВНЫЙ УРОВЕНЬ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ, ОЦЕНКА ШУМА, ДОПУСТИМЫЙ УРОВЕНЬ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ

1.3.1. Нормативный уровень звукового давления L_n — уровень звукового давления в каждой из восьми октавных полос, принятый в действующих нормативных документах в соответствии с рекомендациями ИСО и нормами стран — участниц СЭВ, учитывающими санитарно-гигиенические и другие требования по уменьшению воздействия шума на организм человека.

1.3.2. Шум оценивается по номеру предельного спектра, который служит для характеристики определенного шума одним числом (например, ПС-70) с учетом интенсивности и спектрального распределения шума. Номер предельного спектра численно равен уровню звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц в спектре допустимых уровней шума. Предельные спектры даны в санитарных нормах (см. рис. 1.1).

Для оценки транспортных шумов и в некоторых других случаях нередко пользуются суммарным уровнем звука в дБА.

1.3.3. Уровнем звука L_A (дБА читается «децибел А») называется суммарный уровень звукового давления, измеренный шумомером с скорректированной частотной характеристикой, в которой при помощи соответствующих фильтров снижена чувствительность на низких частотах.

В табл. 1.2 дана стандартная частотная характеристика шкалы А шумомера.

Если измерен спектр шума на линейной характеристике шумомера в децибелах, то пересчитывают спектр в уровень звука в децибелах А следующим образом:

1) из уровней звукового давления спектральных составляющих в децибелах вычитают значения, соответствующие табл. 1.2;

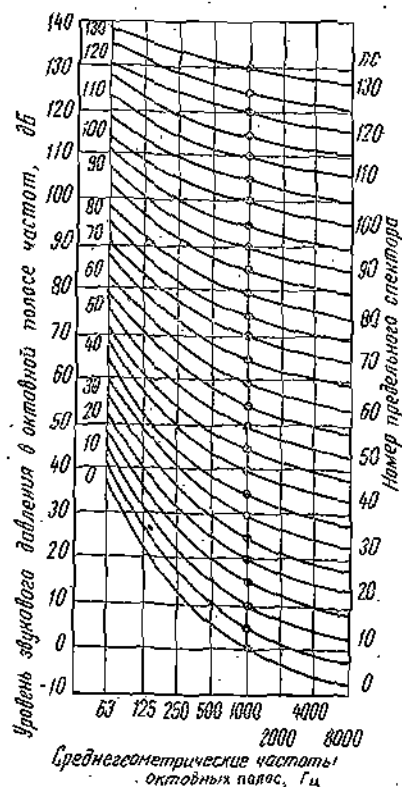


Рис. 1.1. Предельные спектры

2) полученные спектральные составляющие уровня шума в децибелах А суммируют, пользуясь с методикой разд. 1.9 и находят, таким образом, общий уровень звука в децибелах А.

Таблица 1.2
Частотная характеристика измерительного тракта или шумомера

Частота, Гц	Относительная частотная характеристика, дБ А	Допуск на неравномерность характеристики, дБ
63	-26,2	+4
80	-22,5	+3,5
100	-19,1	+3,5
125	-16,1	+3
160	-13,4	+3
200	-10,9	+3
250	-8,6	+3
315	-6,6	+3
400	-4,8	+3
500	-3,2	+3
630	-1,9	+3
800	-0,8	+2,5
1000	0	+2
1250	+0,6	+2,5
1600	+1,3	+3
2000	+1,3	+3
2500	+1,3	+4
3150	+1,2	+5
4000	+0,5	+6,5
5000	-0,1	+6
6300	-0,1	+6
8000	-1,1	+6

Обратная операция — по уровню звука в дБ А определить спектр — не может быть выполнена однозначно.

1.3.4. Допустимый уровень звукового давления в расчетной точке — нормативный уровень звукового давления по основной таблице действующих норм после внесения всех необходимых поправок.

1.4. ЗВУКОВАЯ МОЩНОСТЬ, УРОВЕНЬ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ, ШУМОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.4.1. Звуковая мощность источника P — это общее количество звуковой энергии, излучаемой источником шума в окружающее пространство за единицу времени. Единица звуковой мощности — Ватт (Вт).

Уровень звуковой мощности L_P определяют по формуле

$$L_P = 10 \lg \frac{P}{P_0} \text{ дБ}, \quad (1.6)$$

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

Источник шума характеризуется общим уровнем звуковой мощности $L_{P\Sigma}$, спектром звуковой мощности (см. п. 1.2), 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} , дБ А.

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

$$\Phi = \frac{P_r^2}{P_{r \text{ оср}}^2}, \quad (1.7)$$

где P_r — звуковое давление на расстоянии r от источника в определенном направлении, Па (Н/м^2); $P_{r \text{ оср}}$ — звуковое давление на расстоянии r от источника при равномерном излучении во все стороны, Па (Н/м^2);

$$P_{r \text{ оср}} = \frac{P_{P\Sigma}}{4\pi r^2}. \quad (1.8)$$

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

При расположении источника с равномерным излучением на отражающей плоскости (на полу, крыше, в середине стены) $\Phi = 2$. При расположении такого источника вблизи двугранного угла $\Phi = 4$; вблизи трехгранного угла $\Phi = 8$.

1.4.3. Совокупность $L_{P\Sigma}$, L_{Pi} , Φ , L_{PA} называется шумовой характеристикой источника шума (машин 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 γ .

Шумовые характеристики некоторых процессов и оборудования приведены в п. 2.7.

1.5. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ

1.5.1. Различают два вида звукоизоляции ограждающих конструкций: изоляцию от воздушного шума и изоляцию от ударного шума.

Воздушный шум (речь, музыка, шум оборудования и т. п.) проникает в изолируемое помещение через щели и отверстия или в результате излучения звука ограждающими конструкциями, колеблющимися под действием падающих на них звуковых волн.

Ударный шум (ходьба людей, перестановка мебели и т. п.) излучается в изолируемое помещение колеблющейся конструкцией в виде воздушных звуковых волн.

1.5.2. Коэффициент звукопроницаемости (коэффициент звукопередачи) τ_0 ограждения при падении на него плоской звуковой волны под углом θ относительно нормали к поверхности ограждения есть отношение величины звуковой энергии, прошедшей через ограждение, к величине энергии, падающей на него:

$$\tau_0 = \left| \frac{p_2(\theta)}{p_1(\theta)} \right|^2, \quad (1.9)$$

где p_1 и p_2 — звуковое давление соответственно в падающей и прошедшей волнах.

Величина

$$R_0 = 10 \lg \frac{1}{\tau_0} \text{ дБ}$$

характеризует собственную звукоизоляцию ограждения при падении на него звуковой волны под углом θ .

1.5.3. Практически на ограждение падают не только прямая звуковая волна от источника шума, но и волны, отраженные от других ограждающих конструкций. В результате многократных отражений в помещении устанавливается звуковое поле, близкое к диффузному. Диффузным полем называется однородное звуковое поле, в котором все возможные направления распространения волн равновероятны. Поэтому в расчетах звукоизоляции применяют коэффициент звукопроницаемости ограждения τ при диффузном падении волны, который представляет собой статистически усредненную величину звукопроницаемости ограждения при всех возможных значениях углов падения на него звука (от 0 до 90°):

$$\tau = \int_0^{\pi/2} \tau_0 \sin 2\theta d\theta. \quad (1.10)$$

Обычно интегрирование производят в более узких интервалах (от 0 до 80°).

Величина собственной звукоизоляции ограждения от воздушного шума, которая в дальнейшем изложении называется звукоизолирующей способностью ограждения, определяется как

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} \text{ дБ}. \quad (1.11)$$

Шум может проникать в помещение не только через ограждение, но и косвенными (обходными) путями через боковые конструкции, а также по шахтам, трубопроводам, отверстиям, трещинам и т. п.

Величина изоляции ограждения от воздушного шума при косвенной передаче шума называется фактической изоляцией ограждения от воздушного шума.

1.5.4. Изоляцию от воздушного шума, передающегося из одного помещения в другое, характеризует разность уровней звукового давления в шумном L_1 и изолируемом L_2 помещениях, а с учетом влияния зву-

копоглощения в изолируемом помещении — приведенная разность уровней звукового давления¹, которая определяется по формуле

$$D_{\text{п}} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{A_0}{A} \text{ дБ}, \quad (1.12)$$

где A — общее звукопоглощение в изолируемом помещении, м^2 (см. п. 1.6); A_0 — стандартное значение звукопоглощения, равное 10 м^2 , что близко к величине звукопоглощения в обычных жилых помещениях.

Для ударного шума звукоизоляционные качества перекрытий характеризуются величиной уровня звукового давления, создаваемого в изолируемом помещении при ударах по перекрытию стандартной ударной машины. Она представляет собой систему молотков массой $0,5 \text{ кг}$ каждый, расположенных в ряд, с расстоянием между молотками 10 см ; молотки свободно падают с высоты 4 см и периодически через $0,1 \text{ с}$ ударяют по перекрытию. Головка молотка диаметром 3 см имеет сферическую форму с радиусом около 50 см .

Чтобы иметь возможность сравнить между собой уровни ударного шума в различных помещениях, общее звукопоглощение в них приводят к стандартному значению звукопоглощения A_0 .

Приведенный уровень ударного шума под перекрытием

$$L_{\text{п}} = L - 10 \lg \frac{A_0}{A} \text{ дБ}, \quad (1.13)$$

где L — октавный уровень звукового давления в изолируемом помещении, дБ.

Для оценки величины звукоизолирующей способности ограждений жилых и общественных зданий применяют показатели изоляции от воздушного шума $E_{\text{в}}$ и от ударного шума $E_{\text{у}}$. Способы их определения приведены в главе 3.

1.6. РЕВЕРБЕРАЦИЯ, ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ, ПОСТОЯННАЯ ПОМЕЩЕНИЯ, АКУСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОМЕЩЕНИЯ

1.6.1. Реверберация — процесс затухания звуковой энергии в закрытом помещении после прекращения работы источника шума.

Время реверберации T — время, в течение которого уровень звукового давления после прекращения действия источника звука уменьшится на 60 дБ .

Коэффициент звукопоглощения — отношение неотраженной звуковой энергии к падающей.

Реверберационный коэффициент звукопоглощения α есть коэффициент звукопоглощения, измеренный в специальных камерах по изменению времени реверберации камер после внесения в нее образца звукопоглощающего материала.

1.6.2. Звукопоглощение в помещении — величина, определяющая потери звуковой энергии при падении звука на все поверхности помещения, на находящиеся в помещении предметы и людей, а также потери при распространении звука в воздухе. Эта величина определяется эквивалентной площадью звукопоглощения A , м^2 .

Эквивалентная площадь звукопоглощения A — площадь поверхности с коэффициентом звукопоглощения, равным 1, которая при равномерном распределении звука могла бы поглотить такое же количество звуковой

энергии, как вся поверхность помещения и находящиеся в нем предметы.

$$A = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i + \sum_{k=1}^m A_k + 4\bar{q}V \text{ м}^2, \quad (1.14)$$

где S_i и α_i — соответственно площадь, м^2 и коэффициент звукопоглощения отдельных поверхностей помещения (строительных конструкций и облицовок); n — число этих поверхностей; A_k — эквивалентные площади поглощения отдельных штучных поглотителей или

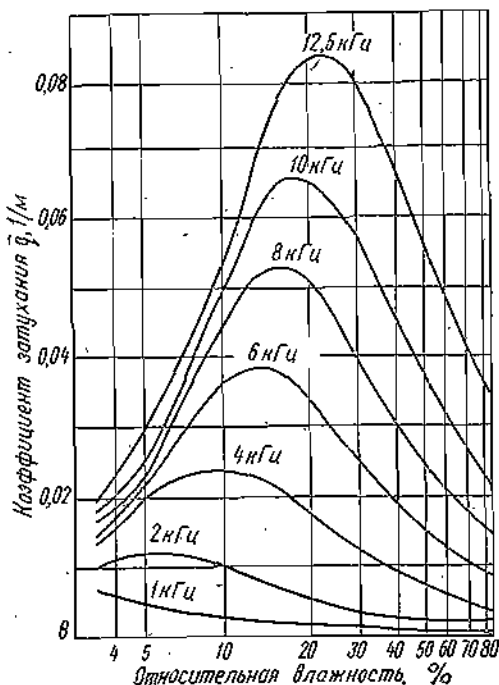


Рис. 1.2. Зависимость коэффициента затухания звука в воздухе при 20°С от влажности воздуха и частоты звука

предметов, находящихся в помещении (люди, мебель и т. д.), м^2 ; m — число этих поглотителей; \bar{q} — затухание звуковой волны в воздухе, $1/\text{м}$, определяется по графику рис. 1.2; V — объем помещения, м^3 .

1.6.3. При акустических расчетах звукопоглощение в помещении характеризуется величиной B , называемой постоянной помещения.

$$B = \frac{A}{1 - \alpha_{\text{ср}}} \text{ м}^2; \quad \alpha_{\text{ср}} = \frac{A}{S_{\text{общ}}}, \quad (1.15)$$

где A — эквивалентная площадь звукопоглощения, м^2 ; $\alpha_{\text{ср}}$ — средний реверберационный (безразмерный) коэффициент звукопоглощения; $S_{\text{общ}}$ — общая площадь всех ограждающих поверхностей помещения, м^2 .

Акустическая обработка помещения — облицовка всех или части внутренних поверхностей ограждений звукопоглощающим материалом и специальными звукопоглощающими конструкциями или подвеска в помещении штучных звукопоглотителей.

¹ Это понятие применяется для оценки звукоизоляции помещений только в жилых зданиях.

1.7. ЗОНА ПРЯМОГО И ОТРАЖЕННОГО ЗВУКА. ПРЕДЕЛЬНЫЙ РАДИУС

1.7.1. Звуковое поле, создаваемое источником шума, в замкнутом объеме (помещении) определяется как прямым звуком, излучаемым непосредственно самим источником, так и отраженным от ограждающих объем поверхностей.

Совокупность точек помещения, расположенных вблизи источника шума, где плотность энергии звуковых волн, излучаемых источником, выше, чем плотность энергии отраженных волн, называется зоной прямого звука. Совокупность точек помещения, в которых более высокой является плотность энергии отраженных волн (вдали от источника шума), называется зоной отраженного звука.

1.7.2. Зона отраженного звука определяется величиной предельного радиуса $r_{пр}$. Предельным радиусом условно называют расстояние от источника шума, на котором уровень звукового давления отраженного звука равен уровню звукового давления прямого звука, излучаемого рассматриваемым источником.

Величину предельного радиуса для источников шума, расположенных на полу, определяют по формулам:

а) когда в помещении находится один источник шума,

$$r_{пр} = 0,2 \sqrt{B_{8000}} \text{ м}; \quad (1.16)$$

б) когда в помещении находится n одинаковых источников шума,

$$r_{пр} = 0,2 \sqrt{\frac{B_{8000}}{n}} \text{ м}; \quad (1.17)$$

в). когда в помещении находится n разных источников шума,

$$r_{пр} = 0,2 \sqrt{\frac{B_{8000} \cdot 10^{0,1 L_{p1}}}{\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{pi}}}}, \quad (1.18)$$

где B_{8000} — постоянная помещения на частоте 8000 Гц (определяется по п. 2.4.5), m^2 ; L_{pi} — уровень звуковой мощности рассматриваемого источника шума на частоте 8000 Гц, дБ.

Частота 8000 Гц берется потому, что ей обычно соответствует максимальное значение предельного радиуса по сравнению с другими частотами.

1.8. ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ И ШУМОГЛУШАЩИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИХ АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1.8.1. Звукопоглощающими конструкциями будем называть все конструкции, содержащие звукопоглощающий материал в виде облицовочного слоя или объема, заполненного этим материалом. К таким конструкциям относятся звукопоглощающие облицовки ограждающих поверхностей помещений, штучные звукопоглотители, облицованные поверхности акустических экранов (гл. 4), а также звукопоглощающие облицовки, применяемые в камерных глушителях (гл. 7) и в звукоизолирующих кожухах (гл. 3).

1.8.2. Шумоглушащими называют конструкции, являющиеся элементами каналов, в которых при распространении воздушного звука происходит снижение энергии звуковых волн. К таким конструкциям относятся все типы диссипативных глушителей, элемент газозвудушных трактов, в которых происходит снижение звуковой мощности распространяющегося шума (облицованные прямые участки или повороты и др. а также сочетания таких элементов с диссипативными глушителями (гл. 7).

1.8.3. Акустической характеристикой звукопоглощающей облицовочной конструкции называют частотную характеристику реверберационного коэффициента звукопоглощения. Акустической характеристикой штучных звукопоглотителей является частотная характеристика эквивалентной площади звукопоглощения на один звукопоглотитель в m^2 .

Акустической характеристикой шумоглушащей конструкции называется частотная характеристика акустической эффективности данной конструкции. Акустическая эффективность шумоглушащей конструкции — снижение звуковой мощности воздушного шума, распространяющегося внутри канала благодаря применению этой конструкции.

1.8.4. Акустическая характеристика (эффективность) звукоизолирующего кожуха — снижение звуковой мощности шума, излучаемого источником в окружающее пространство, в результате установки в источник звукоизолирующего кожуха.

Акустические характеристики приведены в книге для среднегеометрических частот октавных полос.

1.9. СЛОЖЕНИЕ УРОВНЕЙ В ДЕЦИБЕЛАХ

1.9.1. Если в данную точку пространства приходят звуковые волны с уровнями звукового давления L_i , то уровень звукового давления суммарного звука

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \text{ дБ}, \quad (1.19)$$

где n — общее число независимых складываемых уровней, каковыми могут быть спектральные составляющие звука, создаваемого одним источником, и уровни звукового давления от разных источников.

Этой формулой можно пользоваться также при определении суммарного уровня звуковой мощности излучаемой несколькими источниками.

1.9.2. Вместо расчетов по формуле (1.19) можно пользоваться табл. 1.3.

При пользовании таблицей надо последовательно складывать уровни начиная с максимального. Сначала определяют разность двух складываемых уровней, затем — добавку к более высокому из складываемых уровней. После этого добавку следует прибавить к большему из складываемых уровней.

Пример. Требуется найти суммарный уровень для четырех складываемых уровней: $L_1 = 105 \text{ дБ}$; $L_2 = 100 \text{ дБ}$; $L_3 = 111 \text{ дБ}$; $L_4 = 104 \text{ дБ}$. Пользуясь таблицей, суммируем L_1 и L_3 . Разность складываемых уровней $\Delta L = 6 \text{ дБ}$, добавка к большему уровню 1 дБ, суммарный уровень $L_{сум1} = 111 + 1 = 112 \text{ дБ}$. Суммируем $L_{сум1}$ и L_2 , получаем $L_{сум2} = 112 + 0,6 = 112,6 \text{ дБ}$, суммируем $L_{сум2}$ и L_4 , получаем суммарный уровень $L_{сум} = 112,6 + 0,3 = 112,9 \text{ дБ}$.

Таблица сложения уровней звуковой мощности для звукового давления

Таблица 1.3

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

Глава 2

АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА

2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1.1. В проектах, выпускаемых проектными организациями, должны быть отражены все мероприятия по снижению шума, подтвержденные соответствующими акустическими расчетами.

В технологической части проекта должны быть решены все вопросы размещения шумных объектов и оборудования, позволяющие значительно уменьшить воздействие шума на людей в помещениях и на территориях до разработки строительно-акустических мероприятий.

В строительной части проекта в соответствии с технологическим заданием разрабатываются ограждающие конструкции с требуемой звукоизолирующей способностью, кабины наблюдения или дистанционного управления с необходимой звукоизоляцией, звукопоглощающие облицовки и т. п.

В санитарно-технической части проекта должны быть предусмотрены глушители в системах механической вентиляции и кондиционирования воздуха, виброизолирующие основания под вентиляторы и насосы, звукоизолирующие выгородки или кожуха, гибкие вставки на воздуховодах и трубопроводах.

Самостоятельный проект шумоглушения выполняется для объектов и оборудования, требующих разработки специальных устройств снижения шума (глушителей на всасывании и выхлопе газодвигательных установок, звукоизолирующих кожухов, экранов, виброизолирующих конструкций для технологического оборудования и т. д.).

Обоснование технических решений, обеспечивающих необходимое снижение шума, входит в проект шумоглушения или в соответствующий раздел технологической, строительной, санитарно-технической и тому подобных частей проекта.

Объем и стоимость работ входят в смету соответствующих частей проекта.

Лицом, ответственным за наличие в проектной документации необходимых мероприятий по снижению шума, независимо от структуры и масштаба проектной организации, является главный инженер проекта.

2.1.2. Акустический расчет для проекта шумоглушения должен производиться на стадии технического проекта по комплексу сооружений или отдельному объекту. Расчет выполняется в каждой из восьми октавных полос (см. табл. 1.1) частотного диапазона с точностью до десятых долей децибела, а окончательный результат округляется до целых децибелов.

2.1.3. Акустический расчет включает:

- а) выявление источников шума и определение их шумовых характеристик;
- б) выбор точек в помещениях или на территориях, для которых производится акустический расчет (расчетных точек);
- в) определение допустимых уровней звукового давления $L_{доп}$ для расчетных точек;
- г) определение путей распространения шума от источников до расчетных точек;

д) определение ожидаемых уровней звукового давления L в расчетных точках до осуществления мероприятий по снижению шума с учетом снижения уровней звуковой мощности ΔL_p по пути распространения звука;

е) определение требуемого снижения уровней звукового давления $\Delta L_{треб}$ в расчетных точках;

ж) выбор мероприятий для обеспечения требуемого снижения уровней звукового давления в расчетных точках;

и) расчет и проектирование, выбор типа и размеров шумоглушащих, звукопоглощающих и звукоизолирующих конструкций (глушителей, экранов, звукопоглощающих облицовок, звукоизолирующих кожухов и т. п.);

к) проверочный расчет акустической эффективности запроектированных конструкций (в необходимых случаях).

2.2. ВЫЯВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ШУМА И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

2.2.1. В начале расчета необходимо выявить все (сильные и слабые) источники шума.

Причинами шума служат механические, аэрогазодинамические и электромагнитные нестационарные процессы, характеризующиеся наличием переменных во времени величин (пульсаций скоростей, переменных деформаций, вибраций и т. д.). Источниками шума могут быть любые машины и механизмы, потоки газов и жидкостей в трубопроводах, аппаратах и в атмосфере, электрические и магнитные переменные поля в электрических устройствах, речь, музыка, радио- и телеустановки и т. п.

2.2.2. Чтобы выполнить акустический расчет, необходимо располагать шумовыми характеристиками источников шума (см. п. 1.4).

Если поток звуковой энергии от машины может распространяться по нескольким направлениям, необходимо иметь шумовые характеристики для всех этих направлений (например, если будет установлен вентилятор, необходимо знать спектр звуковой мощности, падающей в вентиляционную сеть в стороны входа и выхода, а также проникающей через кожух в помещение вентиляционной камеры).

2.2.3. Шумовые характеристики машин при типовых испытаниях измеряют следующими методами (ГОСТ 8055—73):

- а) в свободном звуковом поле (в заглушенных камерах, в помещениях с большим поглощением или в открытом пространстве);
- б) в отраженном звуковом поле (в реверберационных камерах либо в гулких помещениях);
- в) в обычных помещениях при помощи образцового источника шума;
- г) на расстоянии 1 м от контура машины.

Если характеристика направленности не играет роли, предпочтение следует отдавать измерениям по п. «б», «в»; если надо знать характеристику направленности — измерениями по п. «а». Измерения по п. «г» неточны и могут привести к ошибкам.

Шумовые характеристики вентиляторов измеряют в двух-трех соответствующим образом оборудованных помещениях (см. ГОСТ 15529—70) при различных режимах работы.

Шумы электрических машин измеряют в соответствии с ГОСТ 11929—66.

При измерениях шумовых характеристик должны выполняться определенные требования к качеству аппаратуры, ее состоянию в момент измерений, к уровню помех, свойствам измерительных помещений, расположению оборудования и микрофонов и т. п. (подробнее см. ГОСТ на измерения).

2.2.4. Шумовые характеристики указываются заводом-изготовителем в прилагаемой технической документации в соответствии с требованиями ГОСТа.

Если этих характеристик нет, проектная организация вправе потребовать их от поставщика.

Шумовые характеристики действующего оборудования измеряются в соответствии со стандартами и правилами.

Шумовые характеристики оборудования должны быть приложены к акустическому расчету предприятия, цеха или помещения.

2.2.5. При разработке сложных, с точки зрения борьбы с шумом, проектов проектные организации имеют право потребовать от завода-изготовителя снижения шума выпускаемого им оборудования до уровней, обеспечивающих выполнение требований санитарных норм строительно-акустическим методом.

Задание на проектирование нестандартного оборудования должно содержать требование уменьшить шум до допустимых санитарных нормами уровней.

При разработке оборудования или выборе технологического процесса требование по снижению шума должно быть таким же обязательным, какими являются другие технико-экономические требования.

2.3. НОРМИРОВАНИЕ ШУМА

2.3.1. В настоящее время в Советском Союзе действуют «Санитарные нормы допустимого шума в жилых и общественных зданиях и на территории жилой застройки» № 872—70 Министерства здравоохранения СССР. Эти же нормы включены в главы СНиП II-Л.1-70 «Жилые здания. Нормы проектирования» и II-Л.2-72 «Общественные здания и сооружения, нормы проектирования. Общая часть».

2.3.2. Нормируемыми параметрами постоянного или прерывистого шума в этих нормах являются уровни звуковых давлений L_n в децибелах в октавных поло-

Таблица 2-1

Нормативные уровни звукового давления или уровни звука

№ п.п.	Название помещения или территории	Уровень звукового давления, (дБ) при среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц								Уровень звука, дБ А
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Палаты больниц, в санаториев, операционные больницы	51	39	31	24	20	17	14	13	25
2	Жилые комнаты квартир, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах, жилые помещения домов отдыха и пансионатов	55	44	35	29	25	22	20	18	30
3	Кабинеты врачей больниц, санаториев и 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 зданиям	59	48	40	34	30	27	25	23	35
5	Классы и аудитории в школах и учебных заведениях, конференц-залы, читальные залы и зрительные залы театров, клубов и кинотеатров	63	52	45	39	35	32	30	28	40
6	Территории жилой застройки, непосредственно прилегающие к жилым домам (в 2 м от ограждающих конструкций), площадки отдыха микрорайонов и жилых кварталов, площадки детских дошкольных учреждений	67	57	49	44	40	37	35	33	45
7	Рабочие помещения управлений и помещения конструкторских бюро в административных зданиях	71	61	54	49	45	42	40	38	50
8	Залы кафе и ресторанов, столовые, фойе театров и кинотеатров	75	66	59	54	50	47	45	43	55
9	Торговые залы магазинов, спортзалы, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания, парикмахерские	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Примечания: 1. Допустимые уровни звукового давления, создаваемые в помещениях и на территории вентиляционными установками, следует принимать на 5 дБ ниже указанных в табл. 2.1 или фактических уровней шума в помещениях, если эти уровни не превышают нормативных величин по табл. 2.1 (поправка $\Delta n = -5$ дБ).

2. Для расчетных точек, выбранных снаружи помещений с нормируемыми уровнями шума (на прилегающей территории), значения уровней звукового давления допускается принимать на 10 дБ выше указанных в табл. 2.1 для соответствующих помещений (поправка $\Delta n = +10$ дБ). При этом уровни звукового давления в помещении не будут превышать нормативных значений при открытых форточках.

Таблица 2.2

Поправки к нормативным октавным уровням звукового давления или уровням звука

Влияющий фактор	Условия	Поправка, дБ или дБА
Характер шума	Широкополосный Тональный или импульсный (при измерениях стандартным шумомером)	0 -5
Местоположение объекта	Курортный район Новый проектируемый городской жилой район Жилая застройка, расположенная в существующей (сложившейся) застройке	-5 0 +5
Время суток	День — с 7 до 23 ч Ночь — с 23 до 7 ч	+10 0
Длительность воздействия прерывистого шума в дневное время за наиболее шумные 1/2	Суммарная длительность, %: 55—100 18—56 6—18 Менее 6	0 +5 +10 +15

Примечания: 1. Длительность воздействия шума должна быть обоснована расчетом или подтверждена технической документацией.

2. Тональным считается шум, в котором прослушивается звук определенной частоты.

3. Импульсным считается шум, воспринимаемый как отдельные удары и состоящий из одного или нескольких импульсов звуковой энергии: продолжительность каждого импульса меньше, чем 1 с.

4. Поправки на время суток вносятся: для жилых комнат квартир, общежитий и номеров гостиниц, спальных помещений детских дошкольных учреждений и школ-интернатов, палат больниц и санаториев, жилых помещений домов отдыха и пансионатов; для территорий жилой застройки, непосредственно прилегающих к жилым домам, территориям больниц, санаториев, непосредственно прилегающих к зданиям.

5. Поправки на место расположения объекта учитываются только для внешних источников шума в жилых, спальных помещениях и на территории жилой застройки.

сах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Постоянным считается шум, уровни которого во времени изменяются не более чем на 5 дБ (например,

шум от постоянно работающих насосных или вентиляционных установок).

Прерывистым считается постоянный шум, который прерывается паузами продолжительностью в несколько часов, минут или секунд. При этом время, в течение которого шум остается постоянным (выше шумового фона), составляет 1 с или более (например, шум от лифтов или холодильных установок).

Для ориентировочной оценки постоянного или прерывистого шума можно пользоваться общим уровнем, измеренным по шкале А шумомера — так называемым уровнем звука в дБ А.

2.3.3. Нормируемым параметром непостоянного шума является эквивалентный уровень звука ($L_{экв}$) в дБ А.

Непостоянным шумом считается шум, уровни которого во времени изменяются более чем на 5 дБ (например, все виды транспортных шумов).

Эквивалентный уровень звука данного непостоянного шума представляет собой уровень звука постоянного, широкополосного неимпульсного шума, оказывающего такое же воздействие на человека, как и данный непостоянный шум.

Величина $L_{экв}$ определяется (рассчитывается) на основании измерения уровней звука в дБ А в течение наиболее шумных 30 мин. При этом уровни звука непостоянного шума могут записываться на ленте регистратора уровней или определяться по показаниям шумомера через достаточные короткие интервалы времени (порядка 1 с). Измеренные уровни звука в дБ А разбиваются на классы с диапазоном 5 дБ (т. е. к классу 60 дБ А относятся все уровни от 58 до 62 дБ А, к классу 65 дБ А — уровни от 63 до 67 дБ А и т. д.).

Эквивалентный уровень звука рассчитывают по формуле

$$L_{экв} = 10 \lg \left(\frac{1}{100} \sum t_i \cdot 10^{0,1 L_i} \right) \text{ дБ}, \quad (2.1)$$

где L_i — средний уровень звука класса i , дБ А; t_i — время воздействия шума класса i , % от общего времени измерения.

Таблица 2.3

Нормативные уровни звукового давления и уровни звука на постоянных рабочих местах

Назначение помещения или территории	Уровень звукового давления, дБ при среднегеометрической частоте октавных полос, Гц								Уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
При шуме, проникающем извне помещений, находящихся на территории промышленных предприятий:									
а) конструкторские бюро, комнаты расчетов и программистов счетно-электронных машин, помещения лабораторий для теоретических работ и обработки экспериментальных данных, помещения приема больных, здравпунктов	71	61	54	49	45	42	40	38	50
б) помещения управлений (рабочие комнаты)	70	70	63	58	55	52	50	49	60
в) кабинеты наблюдения и дистанционного управления	94	87	82	78	75	73	71	70	80
г) то же, с речевой связью по телефону	83	74	68	63	60	57	55	54	65
При шуме, возникающем внутри помещений и проникающем в помещения, находящиеся на территории предприятий:									
а) помещения и участки точной сборки, машинописные бюро	83	74	68	63	60	57	55	54	65
б) помещения лабораторий, помещения для размещения «шумных» агрегатов счетно-вычислительных машин (табуляторов, перфораторов, магнитных барабанов и т. п.)	94	87	82	78	75	73	71	70	80
Постоянные рабочие места в производственных помещениях на территории предприятий	103	96	91	88	85	83	81	80	90

Примечания: 1. Допустимые уровни звукового давления, создаваемого в помещениях и на территории вентиляционными установками, следует принимать на 5 дБ ниже указанных в табл. 2.3 или фактических уровней шума в этих помещениях, если эти уровни не превышают нормативных величин по табл. 2.3 (поправка $\Delta_{п} = -5$ дБ).

2. Для расчетных точек, выбранных снаружи помещений с нормируемыми уровнями шума (на прилегающей территории), значения уровней звукового давления допускается принимать на 10 дБ выше указанных в табл. 2.3 для соответствующих помещений (поправка $\Delta_{п} = +10$ дБ).

2.3.4. Нормативные уровни звукового давления L_A в октавных полосах частот и уровни звука в дБ А для помещений жилых и общественных зданий, территорий микрорайонов и жилых кварталов приведены в табл. 2.1, поправки к ним — в табл. 2.2. Поправки к нормативным октавным уровням звукового давления и уровням звука выносятся на характер звука, суммарное время его воздействия и местоположение объекта.

Допустимый (рассчитанный) эквивалентный уровень звука не должен превышать нормативных значений уровней звука в дБ А по табл. 2.1 с поправками на характер шума, место расположения объекта и время суток по табл. 2.2; поправка на длительность воздействия шума не должна использоваться.

2.3.5. Нормативные требования к производственным шумам изложены в санитарных нормах проектирования промышленных предприятий СН 245-71. Нормативные уровни звукового давления или уровни звука, дБ А на рабочих местах в помещениях и на территории промышленных предприятий следует принимать по табл. 2.3.

2.3.6. В зависимости от характера шума и времени его воздействия к величинам октавных уровней звукового давления, приведенным в табл. 2.3, вносятся поправки согласно табл. 2.4.

Таблица 2.4

Поправки в октавным уровням звукового давления и уровням звука, дБ и дБ А

Суммарная длительность воздействия за смену	Характер шума	
	широко-полосный	тональный или импульсный
От 4 до 8 ч	0	-5
• 1 > 4 ч	+6	+1
• 1/2 > 1 ч	+12	+7
• 5 мин до 15 мин	+18	+13
Менее 5 мин	+24	+19

Примечание. Длительность воздействия шума должна быть обоснована расчетом или подтверждена технической документацией.

2.3.7. При акустических расчетах допустимые уровни звукового давления в расчетных точках определяются по формуле

$$L_{\text{доп}} = L_n + \sum \Delta_{\text{п}} \text{ дБ}; \quad (2.2)$$

где L_n — нормативный уровень звукового давления, определяемый по табл. 2.1 или 2.3, дБ; $\sum \Delta_{\text{п}}$ — сумма поправок, определяемая согласно табл. 2.2 и 2.4, в дБ, а также примечаниям к табл. 2.1 и 2.3.

2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В РАСЧЕТНЫХ ТОЧКАХ

2.4.1. Расчетные точки на территории застройки выбирают по генеральному плану, внутри зданий — по технологическим планировкам и строительному заданию (планам и разрезам здания).

При акустических расчетах для источников шума, излучающих шум в окружающую атмосферу, расчетные точки выбирают на расстоянии 2 м от плоскости окон ближайших зданий, ориентированных в сторону источников шума, на высоте 1,2 м от поверхности земли. На территории промышленной площадки обычно выбирают две или три расчетные точки. Например, одна — около ближайшего лабораторно-конструкторского или административного здания, другая — около ближайше-

го жилого здания, третья — около окна тихого (например, контрольного) помещения того же здания. На территориях площадок отдыха жилых микрорайонов, больниц и санаториев, прилегающих к промышленным предприятиям и их территориям, расчетные точки следует выбирать на высоте 1,2 м от поверхности земли и на расстоянии 2 м от границ территории или расположенных на границе зданий, сооружений или зеленых насаждений.

Если шум излучается в помещение (например, с вентиляционной системы) или источник шума находится в помещении с нормируемым уровнем шума, то расчетные точки выбирают внутри помещения.

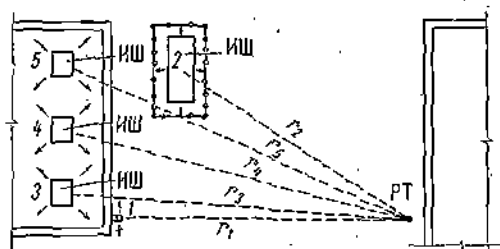


Рис. 2.1. Схема расположения расчетной точки РТ и источников шума ИШ

1-5 номера источников шума; r — расстояние от источника шума до расчетной точки

Внутри помещений выбирают, как правило, одну или две точки: на рабочем месте, расположенном в зоне действия отраженного звука, и в зоне действия как отраженного, так и прямого звука. В обоих случаях расчетные точки должны быть расположены на уровне уха работающего (на высоте 1,2-1,5 м от пола).

2.4.2. Уровни звукового давления в расчетных точках до осуществления мероприятий по шумоглушению определяют в зависимости от взаимного расположения расчетных точек и источников шума (см. пп. 2.4.3-2.4.12).

2.4.3. Если источники шума и расчетные точки расположены на территории (рис. 2.1), то ожидаемые уровни звукового давления L_i рассчитывают по формуле

$$L_i = L_{Pi} - 20 \lg r_i + 10 \lg \frac{\Phi_i}{4\pi} - \frac{\beta_a r_i}{1000} \text{ дБ}, \quad (2.3)$$

где L_{Pi} — уровень звуковой мощности рассматриваемого источника шума, дБ; Φ_i — фактор направленности источника шума, безразмерный; r_i — расстояние источника шума до расчетной точки, м; i — номер источника; β_a — затухание звука в атмосфере, дБ/км, принимаемое по табл. 2.5.

Таблица 2.1

Затухание звука в атмосфере

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
β_a , дБ/км	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

Примечание. При расстоянии $r_i \leq 50$ м затухание в атмосфере не учитывается.

Если нет специальных данных, для источников расположенных на земле или на крыше здания, и выходных отверстий газодинимических установок принимают $\Phi_i = 2$.

2.4.4. Если источники шума расположены в здании, а расчетные точки — на территории и шум в атмосферу проникает через ограждающие конструкции (рис. 2.2), ожидаемые уровни звукового давления в расчетной точке определяются отдельно для каждого элемента ограждения (стены, перекрытия, окна, двери, проема и т. д.), через которое проникает шум, по формулам:

$$L_i = L_{P_{\text{сум}}} - \Delta L_{P_i} - 20 \lg r_i - \frac{\beta_a r_i}{1000} - 5 \text{ дБ}; \quad (2.4)$$

$$\Delta L_{P_i} = 10 \lg B_{\text{ш}} - 10 \lg S_i + R_i \text{ дБ}. \quad (2.5)$$

где $L_{P_{\text{сум}}} = 10 \lg \sum_{k=1}^m \cdot 10^{0,1 L_{P_k}} - \text{суммарный октавный уровень звуковой мощности всех источников шума, находящихся в рассматриваемом помещении, дБ;}$ определяется по табл. 1.3; L_{P_k} — октавный уровень звуковой мощности, излучаемой каждым источником шума, дБ; m — общее количество источников шума в помещении; ΔL_{P_i} — снижение уровня звуковой мощности по пути распространения звука, дБ; $B_{\text{ш}}$ — постоянная рассматриваемого помещения, определяется по п. 2.4.5, м^2 ; S_i — площадь рассматриваемого ограждения или отдельного элемента ограждения, через которое шум проникает в атмосферу, м^2 ; R_i — звукоизолирующая способность рассматриваемого ограждения или элемента ограждения, через которое шум из помещения проникает в атмосферу (для проемов, решеток, фильтров и т. п. принимается $R_i = 0$ дБ); r_i — расстояние от центра каждого из обрабатываемых к расчетной точке элементов ограждения

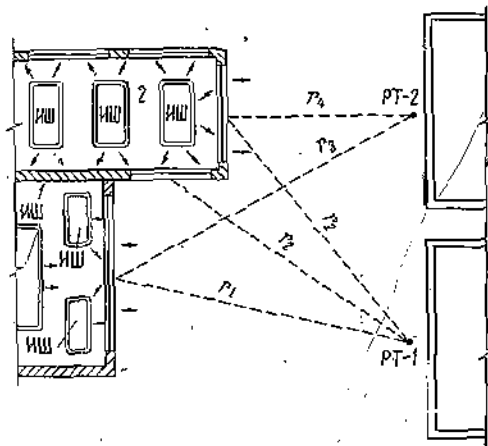


Рис. 2.2. Схема расположения расчетных точек РТ и источников шума ИШ

1, 2 — номера помещений с источниками шума; r — расстояние от центра излучающего шум ограждения до расчетной точки

(включая наружное перекрытие), через которое проникает шум, м ; β_a — затухание звука в атмосфере, дБ/км (принимается по табл. 2.5).

2.4.5. Постоянную помещения B определяют умножением постоянной помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц (B_{1000}) на частотный множитель μ ($B = B_{1000} \mu$). Постоянная помещения B_{1000} определяется по графику, приведенному на рис. 2.3. Выбор индекса прямой (a — g) при пользовании графиком выполняется по табл. 2.6. Значения частотного множителя μ приведены в табл. 2.7.

Прямая с индексом g применяется только при расчете требуемой звукоизолирующей способности ограждающих конструкций (гл. 3) в акустическом расчете вентиляционных систем (гл. 5). В других случаях для

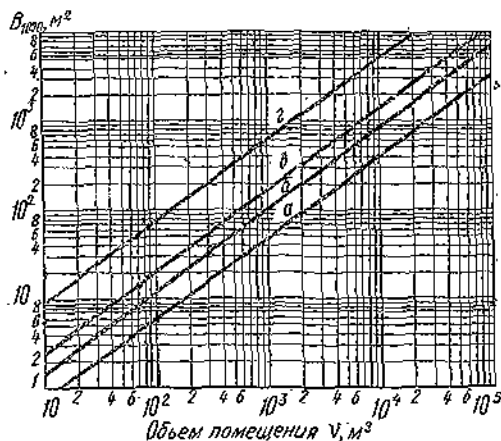


Рис. 2.3. График для определения постоянной помещения B_{1000}

определения $B_{\text{ш}}$ необходимо пользоваться данными, приведенными в гл. 4 (например, при расчете эффективности звукопоглощающих облицовок, экранов и т. п.).

Таблица 2.6

Выбор индекса прямой на рис. 2.3

Описание помещения	Индекс прямой на рис. 2.3
Без мебели, с небольшим количеством людей (металлообрабатывающие цехи, вентиляционные камеры, генераторные, машинные залы, испытательные стенды и т. п.)	a
С жесткой мебелью или с небольшим количеством людей и мягкой мебелью (лаборатории, ткацкие и деревообрабатывающие цехи, кабинеты и т. п.)	б
С большим количеством людей и мягкой мебелью (например, рабочие помещения административных зданий, конструкторские залы, аудитории, рестораны, универсамы, помещений аэропортов и залы ожидания, номера гостиниц, школьные классы, библиотеки, жилые помещения)	в
Помещения со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен	г

Таблица 2.7

Частотный множитель μ

Объем помещения, м^3	Среднегеометрическая частота, Гц								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
$V < 200$	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,6	
$V = 200-500$	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2	
$V > 500$	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6	

2.4.6. Если источники шума расположены в здании, а расчетные точки на территории и шум распространяется по каналам и излучается в атмосферу через выходные отверстия (рис. 2.4—2.6), то ожидаемые уровни звукового давления L_i от каждого источника определяются по формуле

$$L_i = L_{P_i} - \Delta L_{P_i} - 20 \lg r_i + 10 \lg \times \frac{\Phi_i}{4\pi} - \frac{\beta_a r_i}{1000} \text{ дБ}, \quad (2.6)$$

где L_{Pi} — октавный уровень звуковой мощности рассматриваемого источника шума, дБ; ΔL_{Pi} — снижение октавного уровня звуковой мощности по пути распространения шума от источника до выходного отверстия (для вентиляционных установок определяется в п. 5.4); r_i — расстояние от центра плоскости выходного отверстия до расчетной точки, м; Φ_i — фактор направления выходного отверстия, безразмерный; при отсутствии данных принимается $\Phi_i = 2$; β_a — затухание звука в атмосфере, дБ/км (принимается по табл. 2.5).

Величина ΔL_{Pi} определяется по формулам для следующих наиболее часто встречающихся в практике случаев:

а) источник излучает шум непосредственно в канал (рис. 2.4).

$$\Delta L_{Pi} = \sum_{k=1}^m \Delta L_{Pk} \text{ дБ}, \quad (2.7)$$

где ΔL_{Pk} — снижение октавного уровня звуковой мощности в последовательно расположенных элементах трассы (прямых участках, поворотах, выходных отверстиях или решетках и т. п.), определяемое по графикам и таблицам (п. 5.4), дБ; m — число элементов трассы, в которых учитывается снижение уровней звуковой мощности;

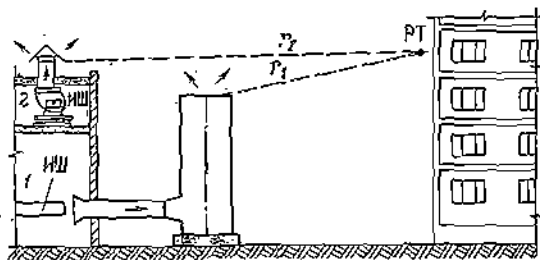


Рис. 2.4. Схема расположения расчетной точки РТ и источников шума ИШ

1, 2 — номера источников шума; r — расстояние от центра излучающего шум отверстия до расчетной точки

б) источники шума расположены в помещении, из которого шум проникает через входное отверстие в канал и далее излучается в атмосферу через выходные отверстия (решетки) (рис. 2.5):

$$\Delta L_{Pi} = 10 \lg B_{\text{ш}} - 10 \lg S_0 + \sum_{k=1}^m \Delta L_{Pk} \text{ дБ}, \quad (2.8)$$

где S_0 — площадь входного канала (решетки) в помещении с источниками шума, м^2 ; $B_{\text{ш}}$ — постоянная помещения, в котором находятся источники шума, м^2 ; ΔL_{Pk} — то же, что в формуле (2.7);

в) источники шума расположены в помещении, из которого шум проникает в канал через стенки и затем излучается в атмосферу через выходные отверстия (рис. 2.6):

$$\Delta L_{Pi} = 10 \lg B_{\text{ш}} - 10 \lg S_{\text{кан}} + R_{\text{кан}} + 3 + \sum_{k=1}^m \Delta L_{Pk} \text{ дБ}, \quad (2.9)$$

где $S_{\text{кан}}$ — площадь наружной поверхности стенок канала (воздуховода) в пределах шумного помещения, м^2 ; $R_{\text{кан}}$ — звукоизолирующая способность стенок канала, дБ.

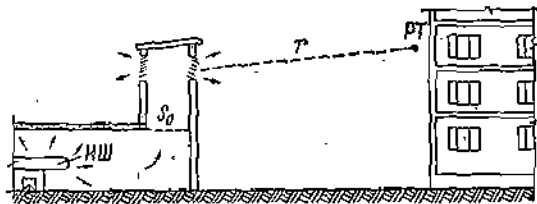


Рис. 2.5. Схема расположения расчетной точки РТ и источников шума ИШ

r — расстояние от центра излучающего шум отверстия до расчетной точки

2.4.7. Если источники расположены в здании, излучают шум непосредственно в канал и далее через стенки канала в атмосферу (рис. 2.7), то ожидаемые уровни звукового давления L_i рассчитывают по формуле (2.4). Снижение октавных уровней звуковой мощности по пути распространения звука ΔL_{Pi} определяют по формул

$$\Delta L_{Pi} = \Delta L'_{Pi} - 10 \lg \frac{S_{\text{кан}}}{S_0} + R_{\text{кан}} - 10 \lg (1 + 10^{-0, \Delta L}) + 3 \text{ дБ}, \quad (2.10)$$

где $\Delta L'_{Pi}$ — снижение уровня звуковой мощности по пути распространения звука между источником шума начальным сечением участка канала, излучающего шум

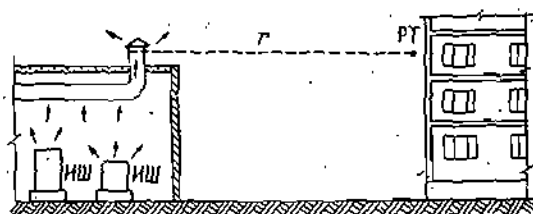


Рис. 2.6. Схема расположения расчетной точки РТ и источников шума ИШ

r — расстояние от центра излучающего шум отверстия до расчетной точки

в атмосферу, дБ, определяется по формуле (2.7); S_0 — площадь поперечного сечения канала, м^2 ; $S_{\text{кан}}$ — площадь наружной поверхности стенок канала, м^2 ; $R_{\text{кан}}$ — звукоизолирующая способность стенок канала, дБ; ΔL — снижение уровня звуковой мощности на рассматриваемом участке канала в дБ.

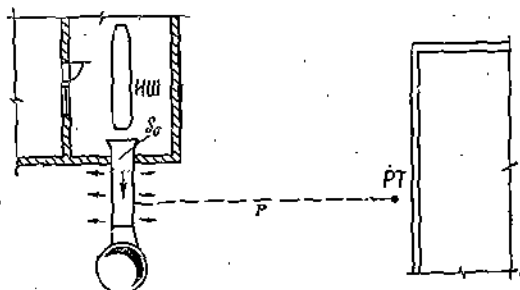


Рис. 2.7. Схема расположения расчетной точки РТ и источника шума ИШ

r — расстояние от центра излучающей поверхности до расчетной точки; S_0 — площадь сечения канала

2.4.8. Если источники шума расположены в смежном с изолируемым помещением, а шум проникает в изолируемое помещение через ограждающие конструкции (рис. 2.8), то ожидаемые уровни звукового давления L_i в расчетной точке определяют по формулам:

$$L_i = L_{P_{\text{сум}}} - \Delta L_{Pi} - 10 \lg B_{\text{ш}} + 6 \text{ дБ}; \quad (2.11)$$

$$\Delta L_{Pi} = 10 \lg B_{\text{ш}} - 10 \lg S_i + R_i \text{ дБ}, \quad (2.12)$$

где $L_{P_{\text{сум}}} = 10 \lg \sum_{k=1}^m 10^{0.1 \cdot L_{Pk}}$ —

суммарный октавный уровень звуковой мощности, излучаемой всеми источниками, находящимися в рассматриваемом шумном помещении, дБ, определяется по

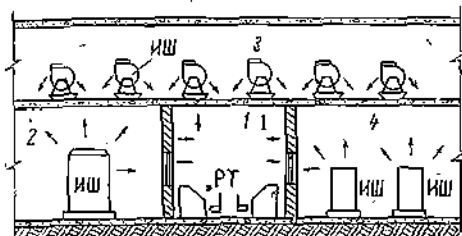


Рис. 2.8. Схема расположения расчетной точки РТ и источников шума ИШ

1 — изолируемое помещение; 2—4 — помещения с источниками шума

табл. 1.3; m — общее количество источников в рассматриваемом шумном помещении, граничащем с изолируемым; $B_{\text{ш}}$ и $B_{\text{ш}}$ — соответственно постоянные изолируемого и рассматриваемого помещений в данной октавной полосе частот, м^2 ; определяются по п. 2.4.5; S_i — площадь рассматриваемого ограждения или элемента

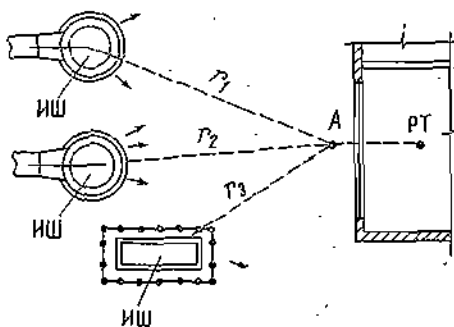


Рис. 2.9. Схема расположения расчетной точки РТ и источников шума ИШ

r — расстояние от центра излучения до промежуточной расчетной точки

ограждения, через которое шум проникает в изолируемое помещение, м^2 ; R_i — звукоизолирующая способность рассматриваемого ограждения или элемента ограждения, через которое шум проникает в изолируемое помещение, дБ.

2.4.9. Если источники шума расположены на прилегающей к изолируемому помещению территории, а шум проникает через ограждающие конструкции в изолируемое помещение (рис. 2.9), то ожидаемые уровни

звукового давления L_i в расчетной точке определяют по формулам:

$$L_i = L_{\text{сум}} + 10 \lg S_i - R_i - 10 \lg B_{\text{ш}} + 6 \text{ дБ}; \quad (2.13)$$

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \sum_{k=1}^n 10^{0.1 \cdot L_k} \text{ дБ}; \quad (2.14)$$

$$L_k = L_{Pk} - 20 \lg r_k + 10 \lg \frac{\Phi_k}{4\pi} - \frac{\beta_a r_k}{1000} \text{ дБ}. \quad (2.15)$$

где $L_{\text{сум}}$ — суммарный октавный уровень звукового давления, создаваемый всеми рассматриваемыми источниками шума в промежуточной расчетной точке А, расположенной на расстоянии 2 м от ограждающей конструкции изолируемого помещения, дБ; определяется по табл. 1.3; L_k — октавный уровень звукового давления, создаваемый рассматриваемым источником шума в промежуточной расчетной точке А, дБ; L_{Pk} — октавный уровень звуковой мощности, излучаемой рассматриваемым источником шума, дБ; r_k — расстояние от рассматриваемого источника до промежуточной расчетной точки А, м; Φ_k — фактор направленности, безразмерный; принимается согласно шумовой характеристике источника, при отсутствии данных принимается

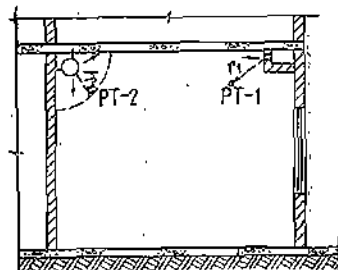


Рис. 2.10. Схема расположения расчетных точек РТ в помещении. Шум проникает через вентиляционные решетки РТ-1 и через стенки воздуховода РТ-2

r_1 — расстояние от центра решетки до расчетной точки; r_2 — кратчайшее расстояние от поверхности воздуховода до расчетной точки 2

$\Phi_k = 2$; β_a — затухание звука в атмосфере, дБ/км (табл. 2.5); S_i — площадь рассматриваемого ограждения или элемента ограждения, через которое шум проникает в изолируемое помещение, м^2 ; R_i — звукоизолирующая способность рассматриваемого ограждения или элемента ограждения, через которое шум проникает в изолируемое помещение, дБ; $B_{\text{ш}}$ — постоянная изолируемого помещения, м^2 ; определяется по п. 2.4.5; n — общее число принимаемых в расчет источников шума (см. пп. 2.5.3 и 2.5.4).

2.4.10. Источники шума расположены на входе в канал, а расчетные точки — в изолируемом помещении (рис. 2.10):

а) если шум проникает в изолируемое помещение через вентиляционные решетки, то ожидаемые уровни звукового давления шума, проникающего через решетки от одной вентиляционной системы, рассчитывают по формуле

$$L_i = L_{Pi} - \Delta L_{Pi} + 10 \lg \left(\frac{\Phi_{Pi}}{4\pi r_i^2} + \frac{4n_i}{B_{\text{ш}}} \right) \text{ дБ}, \quad (2.16)$$

где L_{Pi} — октавный уровень звуковой мощности, излучаемой источником шума (например, вентиляторной установкой в канал), дБ; ΔL_{Pi} — суммарное снижение уровня звуковой мощности в элементах сети по пути распространения шума от источника до решеток, дБ; определяется по формуле (2.7); Φ_{Pi} — фактор направленности решетки (отверстия), безразмерный; определяется

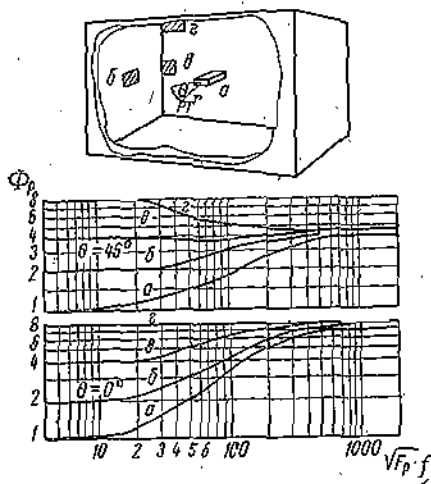


Рис. 2.11. Фактор направленности Φ_p при излучении шума из вентиляционной решетки в зависимости от произведения приведенного размера решетки $\sqrt{F_p}$ (м) на частоту f , Гц
 а — решетка соответственно в центре помещения, в центре стены, вблизи ребра и вблизи угла; РТ — расчетная точка; r — расстояние от центра решетки до расчетной точки

по графику рис. 2.11; r_i — расстояние от расчетной точки до центра ближайшей решетки (отверстия), м; n_i — число решеток, через которые шум рассматриваемой вентиляционной системы проникает в помещение; $B_{\text{в}}$ — постоянная изолируемого помещения, м²; определяется по п. 2.4.5.

Уровни звукового давления шума, проникающие через вентиляционные решетки, для расчетных точек, выбранных в зоне отраженного звука (см. п. 1.7.2), можно рассчитывать по формуле

$$L_i = L_{Pi} - \Delta L_{Pi} - 10 \lg B_{\text{в}} + 10 \lg n_i + 6 \text{ дБ}; \quad (2.17)$$

б) если шум проникает в изолируемое помещение через стенки канала (воздуховода), то ожидаемые уровни звукового давления рассчитывают по формуле

$$L_i = L_{Pi} - \Delta L_{Pi} + 10 \lg \left(\frac{1}{S_r} + \frac{4}{B_{\text{в}}} \right) \text{ дБ}, \quad (2.18)$$

где L_{Pi} — октавный уровень звуковой мощности, излучаемой источником шума в канал, дБ; ΔL_{Pi} — суммарное снижение уровней звуковой мощности по пути распространения звука, определяемое по формуле (2.10), дБ; S_r — площадь воображаемой поверхности, все точки которой равноудалены от поверхности канала в пределах изолируемого помещения и проходящей через расчетную точку, м²; $B_{\text{в}}$ — то же, что в формуле (2.16).

2.4.11. Если расчетные точки расположены в помещении с источниками шума и в рассматриваемом поме-

щении находится один источник шума, расположенный на полу или на стене (рис. 2.12), ожидаемые уровни звукового давления определяют по формуле

$$L = L_P + 10 \lg \left(\frac{\kappa}{S} + \frac{4}{B_{\text{в}}} \right) \text{ дБ}, \quad (2.19)$$

где L_P — октавный уровень звуковой мощности источника шума, дБ; S — площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей источник и проходящей через расчетную точку, м²

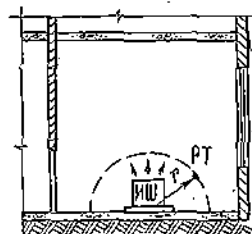


Рис. 2.12. Схема расположения расчетной точки РТ и источника шума ИШ
 r — расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки

Для небольших источников, у которых $2l_{\text{макс}} < l_{\text{макс}}$ ($l_{\text{макс}}$ — максимальный габаритный размер источника шума, м; r — расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м), принимается $S = 2\pi r^2$ (акустический центр источника шума — проекция геометрического центра машины на горизонтальную плоскость); κ — эмпирический поправочный коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля и принимаемый в зависимости от отношения расстояния r максимальному габаритному размеру источника по графику рис. 2.13 (при $2l_{\text{макс}} < r \times \kappa = 1$); $B_{\text{в}}$ — постоянная помещения, м²; определяется по п. 2.4.5.

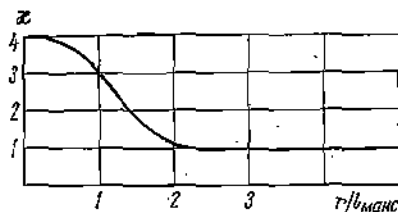


Рис. 2.13. График для определения параметра κ

2.4.12. В рассматриваемом помещении установлены несколько разных источников шума (рис. 2.14). Ожидаемые уровни звукового давления от всех источников в выбранных расчетных точках (на рабочих местах рассчитывают по формуле

$$L = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_i \kappa_i}{S_i} + \frac{4}{B_{\text{в}}} \sum_{i=1}^n \Delta_i \right) \text{ дБ} \quad (2.2)$$

где $\Delta_i = 10^{0.1 L_{Pi}}$ можно определить по табл. 2.8 положив $L_{Pi} = K$; L_{Pi} — октавный уровень звуков

* Таблица составлена Ю. М. Павловым.

Нахождение величин $\Delta = 10 \pm 0,1K$

Единицы K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Десятки K										
$\Delta = 10 + 0,1K$										
0	1	1,3	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8
1	1×10^1	$1,3 \times 10^1$	$1,6 \times 10^1$	2×10^1	$2,5 \times 10^1$	$3,2 \times 10^1$	4×10^1	5×10^1	$6,3 \times 10^1$	8×10^1
2	1×10^2	$1,3 \times 10^2$	$1,6 \times 10^2$	2×10^2	$2,5 \times 10^2$	$3,2 \times 10^2$	4×10^2	5×10^2	$6,3 \times 10^2$	8×10^2
3	1×10^3	$1,3 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	2×10^3	$2,5 \times 10^3$	$3,2 \times 10^3$	4×10^3	5×10^3	$6,3 \times 10^3$	8×10^3
4	1×10^4	$1,3 \times 10^4$	$1,6 \times 10^4$	2×10^4	$2,5 \times 10^4$	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	5×10^4	$6,3 \times 10^4$	8×10^4
5	1×10^5	$1,3 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$	2×10^5	$2,5 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$	4×10^5	5×10^5	$6,3 \times 10^5$	8×10^5
6	1×10^6	$1,3 \times 10^6$	$1,6 \times 10^6$	2×10^6	$2,5 \times 10^6$	$3,2 \times 10^6$	4×10^6	5×10^6	$6,3 \times 10^6$	8×10^6
7	1×10^7	$1,3 \times 10^7$	$1,6 \times 10^7$	2×10^7	$2,5 \times 10^7$	$3,2 \times 10^7$	4×10^7	5×10^7	$6,3 \times 10^7$	8×10^7
8	1×10^8	$1,3 \times 10^8$	$1,6 \times 10^8$	2×10^8	$2,5 \times 10^8$	$3,2 \times 10^8$	4×10^8	5×10^8	$6,3 \times 10^8$	8×10^8
9	1×10^9	$1,3 \times 10^9$	$1,6 \times 10^9$	2×10^9	$2,5 \times 10^9$	$3,2 \times 10^9$	4×10^9	5×10^9	$6,3 \times 10^9$	8×10^9
10	1×10^{10}	$1,3 \times 10^{10}$	$1,6 \times 10^{10}$	2×10^{10}	$2,5 \times 10^{10}$	$3,2 \times 10^{10}$	4×10^{10}	5×10^{10}	$6,3 \times 10^{10}$	8×10^{10}
11	1×10^{11}	$1,3 \times 10^{11}$	$1,6 \times 10^{11}$	2×10^{11}	$2,5 \times 10^{11}$	$3,2 \times 10^{11}$	4×10^{11}	5×10^{11}	$6,3 \times 10^{11}$	8×10^{11}
12	1×10^{12}	$1,3 \times 10^{12}$	$1,6 \times 10^{12}$	2×10^{12}	$2,5 \times 10^{12}$	$3,2 \times 10^{12}$	4×10^{12}	5×10^{12}	$6,3 \times 10^{12}$	8×10^{12}

 $\Delta = 10 - 0,1K$

0	1	0,8	0,63	0,5	0,4	0,32	0,25	0,2	0,16	0,13
1	1×10^{-1}	$0,8 \times 10^{-1}$	$0,63 \times 10^{-1}$	$0,5 \times 10^{-1}$	$0,4 \times 10^{-1}$	$0,32 \times 10^{-1}$	$0,25 \times 10^{-1}$	$0,2 \times 10^{-1}$	$0,16 \times 10^{-1}$	$0,13 \times 10^{-1}$
2	1×10^{-2}	$0,8 \times 10^{-2}$	$0,63 \times 10^{-2}$	$0,5 \times 10^{-2}$	$0,4 \times 10^{-2}$	$0,32 \times 10^{-2}$	$0,25 \times 10^{-2}$	$0,2 \times 10^{-2}$	$0,16 \times 10^{-2}$	$0,13 \times 10^{-2}$
3	1×10^{-3}	$0,8 \times 10^{-3}$	$0,63 \times 10^{-3}$	$0,5 \times 10^{-3}$	$0,4 \times 10^{-3}$	$0,32 \times 10^{-3}$	$0,25 \times 10^{-3}$	$0,2 \times 10^{-3}$	$0,16 \times 10^{-3}$	$0,13 \times 10^{-3}$
4	1×10^{-4}	$0,8 \times 10^{-4}$	$0,63 \times 10^{-4}$	$0,5 \times 10^{-4}$	$0,4 \times 10^{-4}$	$0,32 \times 10^{-4}$	$0,25 \times 10^{-4}$	$0,2 \times 10^{-4}$	$0,16 \times 10^{-4}$	$0,13 \times 10^{-4}$
5	1×10^{-5}	$0,8 \times 10^{-5}$	$0,63 \times 10^{-5}$	$0,5 \times 10^{-5}$	$0,4 \times 10^{-5}$	$0,32 \times 10^{-5}$	$0,25 \times 10^{-5}$	$0,2 \times 10^{-5}$	$0,16 \times 10^{-5}$	$0,13 \times 10^{-5}$
6	1×10^{-6}	$0,8 \times 10^{-6}$	$0,63 \times 10^{-6}$	$0,5 \times 10^{-6}$	$0,4 \times 10^{-6}$	$0,32 \times 10^{-6}$	$0,25 \times 10^{-6}$	$0,2 \times 10^{-6}$	$0,16 \times 10^{-6}$	$0,13 \times 10^{-6}$
7	1×10^{-7}	$0,8 \times 10^{-7}$	$0,63 \times 10^{-7}$	$0,5 \times 10^{-7}$	$0,4 \times 10^{-7}$	$0,32 \times 10^{-7}$	$0,25 \times 10^{-7}$	$0,2 \times 10^{-7}$	$0,16 \times 10^{-7}$	$0,13 \times 10^{-7}$
8	1×10^{-8}	$0,8 \times 10^{-8}$	$0,63 \times 10^{-8}$	$0,5 \times 10^{-8}$	$0,4 \times 10^{-8}$	$0,32 \times 10^{-8}$	$0,25 \times 10^{-8}$	$0,2 \times 10^{-8}$	$0,16 \times 10^{-8}$	$0,13 \times 10^{-8}$
9	1×10^{-9}	$0,8 \times 10^{-9}$	$0,63 \times 10^{-9}$	$0,5 \times 10^{-9}$	$0,4 \times 10^{-9}$	$0,32 \times 10^{-9}$	$0,25 \times 10^{-9}$	$0,2 \times 10^{-9}$	$0,16 \times 10^{-9}$	$0,13 \times 10^{-9}$
10	1×10^{-10}	$0,8 \times 10^{-10}$	$0,63 \times 10^{-10}$	$0,5 \times 10^{-10}$	$0,4 \times 10^{-10}$	$0,32 \times 10^{-10}$	$0,25 \times 10^{-10}$	$0,2 \times 10^{-10}$	$0,16 \times 10^{-10}$	$0,13 \times 10^{-10}$

Примечание. При пользовании таблицей величин K следует округлять до целых децибел.

Пример. Найти величину $\Delta = 10,1K$ для $K = 89$ дБ.

Решение. В столбце «Десятки K » находим число 8. В столбце «Единицы K » находим число 9. Искомая величина $\Delta = 8 \cdot 10^9$.

мощности, излучаемой i -м источником шума, дБ; S_i — то же, что S в формуле (2.19), но для i -го источника (в случаях когда $S_i = 2 \pi r_i^2$, r_i — расстояние от расчетной точки до акустического центра i -го источника шума,

наковую звуковую мощность, то ожидаемые октавные уровни звукового давления L от всех источников в расчетной точке определяют по формуле

$$L = L_{P0} + 10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{x_i}{S_i} + \frac{4n}{B_{ш}} \right) \text{ дБ}, \quad (2.21)$$

где L_{P0} — октавный уровень звуковой мощности, излучаемой одним источником шума, дБ; n — общее их количество.

2.5. РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОГО СНИЖЕНИЯ ШУМА

2.5.1. 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 $L_{\text{доп}}$:

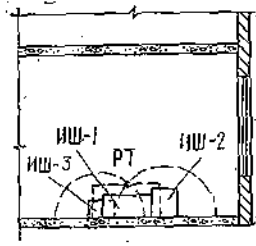
$$\Delta L_{\text{тр}} = L - L_{\text{доп}} \text{ дБ}; \quad (2.22)$$

$L_{\text{доп}}$ — определяется по формуле (2.2), дБ.

2.5.2. 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

Оис. 2.14. Схема рас-
положения расчетной
точки РТ и источни-
ков шума ИШ



н
и
ом; x_i — то же, что в формуле (2.19), для i -го источника;
и — количество источников шума, ближайших к рас-
считной точке (т. е. источников, для которых $r_i \leq 4 r_{\text{мин}}$,
где $r_{\text{мин}}$ — расстояние от расчетной точки до акусти-
ческого центра ближайшего к ней источника, м); n —
общее количество принимаемых в расчет источников
шума в помещении (п. 2.5.4).

2.4.13. Если в рассматриваемом помещении уста-
новлено несколько источников шума, излучающих оди-

снижение уровней звукового давления $\Delta L_{\text{тр}i}$ в расчетной точке для каждого источника шума определяют по формуле

$$\Delta L_{\text{при}} = L_i - L_{\text{порт}} + 10 \lg n \partial B, \quad (2.23)$$

где L_i — ожидаемый октавный уровень звукового давления, создаваемый рассматриваемым источником шума в расчетной точке, дБ; $L_{доп}$ — допустимый уровень звукового давления в расчетной точке, определяемый по формуле (2.2), дБ; n — общее количество принимаемых в расчет источников шума (см. пп. 2.5.3 и 2.5.4).

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 по формулам:

а) для каждого труднозаглушаемого источника

$$\Delta L_{\text{TPi}} = L_i - L_{\text{non}} + 10 \lg n_i \partial \delta, \quad (2.24)$$

где n_1 — общее количество труднозаглушаемых источников;

б) для каждого из остальных источников

$$\Delta L_{\text{Topi}} = L_i - L_{\text{нош}} + 10 \lg (n - n_1) + 5 \partial B, \quad (2.25)$$

где n — общее количество принимаемых в расчет источников шума (см. пп. 2.5.3 и 2.5.4),

2.5.3. При определении $\Delta L_{\text{тр}}$ в расчетных точках, расположенных на территории промышленного предприятия, в общее количество принимаемых в расчет (см. п. 2.5.4) 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 $\Delta L_{\text{тр}}$ для расчетных точек в изолируемом помещении в общее количество n принимаемых в расчет (см. п. 2.5.4) источников входит число элементов ограждений, через которые шум проникает в изолируемое помещение, общее количество систем механической вентиляции, которые обслуживают рассматриваемое помещение, в шумное оборудование, установленное в помещении.

2.5.4. 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

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

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

2.5.5. При определении L_i в формулах (2.23) — (2.25) для разных источников шума расстояния r_i можно принимать одинаковым ($r_i = r_{\text{ср}}$), если расстояния r_i от каждого источника (например, отверстия всасывающих и выпускных воздухопроводов) близки между собой, т. е.

$$\tau_{\text{макс}} \leq 1,5 \tau_{\text{мин}}.$$

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

2.5.6. В замкнутых помещениях с шумным об-
данием вычисляют также требуемое снижение $L_{\text{н}}^{\text{н}}(L_{\text{н}}^{\text{н}})$
при одновременной работе всех источников:

$$\Delta L_{\text{тр.обм}} = L_{\text{обм}} - L_{\text{доп}} \partial B, \quad (1)$$

где $L_{\text{общ}}$ — октавный уровень звукового давления в расчетной точке от всех источников шума, дБ; α — делится по формулам (2.20) или (2.21).

2.5.7. Если необходимо определить желательную шумовую характеристику оборудования, при котором не потребуются никакие строительно-акустические мероприятия по шумоглушению, необходимо выполнить акустический расчет, положив $\Delta L_{\text{т.р.и}} = 0$ и $n = 0$ в формул. Если паспортная величина уровня звуковой мощности $L_{\text{п.м.}}$ в одной октавной полосе не превышает заданного значения, строительно-акустические мероприятия не будут нужны.

2.6. ВЫБОР СТРОИТЕЛЬНО-АКУСТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА

2.6.1. Меры борьбы с шумом следует предусматривать уже на стадии проектирования генеральных планов промышленных предприятий и планировок помещений в отдельных зданиях.

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

При планировке помещений внутри зданий не предусматривать максимально возможное удаление тихих и малозумных помещений от помещений с и сильными источниками шума.

2.6.2. Чтобы уменьшить шум, излучаемый пропеллером, оборудованием в окружающую атмосферу, рекомендуется следующие мероприятия:

а) применение таких материалов и конструкций при проектировании кровли, наружных стен, фрон остекления (окон), ворот и дверей, которые могут печивать 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 (гл. 3):

б) устройство специальных звукоизолированных боксов и звукоизолирующих кожухов при размещении шумящего оборудования на территориях промышленных площадок (гл. 3);

в) применение экранов, препятствующих распространению звука в атмосфере от оборудования, расположенного на территории промышленной площадки (г

г) устройство глушителей шума в газодинамических трактах установок, излучающих шум в атмосферу (испытательных боксов авиационных двигателей, турбинных установок, компрессоров, вентиляторов тому подобных установок); звукоизоляционная обшивка каналов, излучающих шум в атмосферу (гл. 5

2.6.3. Чтобы уменьшить излучение шума в приемное помещение, рекомендуются следующие с тельно-акустические мероприятия:

а) применение необходимых материалов и конструкций при проектировании перекрытий, стен, перегородок, сплошных и остекленных дверей и окон, и наблюдения, обеспечивающих требуемую звуко-

рующую способность; использование специальных дверей и окон, наблюдения с требуемой звукоизолирующей способностью (гл. 3);

б) применение звукопоглощающей облицовки потолка и стен или штучных звукопоглотителей в изолируемом помещении (гл. 4);

в) применение подвесных потолков и плавающего пола (гл. 3), виброизоляции агрегатов, расположенных в том же здании;

г) применение звукоизолирующего и вибродемпфирующего покрытий на поверхности трубопроводов, проходящих по помещению; звукоизоляция мест прохода технологических коммуникаций, связывающих шумное и изолируемое помещение (гл. 3);

д) использование глушителей шума в системах механической вентиляции и кондиционирования воздуха (гл. 5).

2.6.4. Чтобы уменьшить шум в помещении с источниками его излучения, используются следующие строительные-акустические мероприятия:

а) кабины наблюдения, дистанционного управления и специальные боксы для наиболее шумного оборудования;

б) звукоизолирующие кожухи, акустические экраны и выгородки;

в) вибродемпфирующие покрытия на вибрирующие поверхности;

г) звукопоглощающие облицовки потолка и стен или штучные звукопоглотители;

д) 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.).

2.6.5. В жилых домах, общежитиях, гостиницах, учебных заведениях, больницах, санаториях, административных и тому подобных зданиях:

а) котельные, машинные отделения лифтов, насосные (кроме пожарных), помещения с вентиляторами, котельные и буфеты не должны иметь общих с жилыми и рабочими комнатами ограждающих конструкций;

б) лифтовые шахты, мусоропроводы не должны примыкать к стенам жилых и рабочих помещений;

в) кухни, ванные и санузлы рекомендуется объединять в отдельные блоки, граничащие со стенами лестничных клеток или с такими же блоками соседних помещений и отделенные от жилых помещений коридором, тамбуром или холлом; нельзя устанавливать санитарные приборы на ограждениях жилых комнат;

г) жилые и рабочие помещения, больничные палаты, классы и аудитории должны отделяться от лестничных клеток вспомогательными помещениями (кухнями, санузлами и т. д.);

д) гимнастические залы, мастерские и другие шумные помещения в учебных заведениях не должны располагаться в непосредственной близости от классов, аудиторий и тихих лабораторий;

е) в жилых домах следует избегать устройства кинотеатров, разного рода производственных предприятий и предприятий бытового обслуживания с оборудованием, издающим шум и вибрации. Встроенные магазины также часто являются источником шума (холодильные установки, транспорт и т. п.).

2.7. ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ИСТОЧНИКОВ ШУМА И ОБОРУДОВАНИЯ

2.7.1. Здесь приведены шумовые характеристики, которыми располагала авторами справочника к моменту написания.

Данные о шумовых характеристиках вентиляторов приведены в гл. 5, компрессорных и газотурбинных установок, а также боксов для испытания ТРД — в гл. 6.

2.7.2. Расчетным путем можно определить шум газовой струи¹, которая является основным источником шума во многих газодинамических установках.

Шум струи возникает вследствие турбулентных пульсаций при перемешивании частиц газа, имеющих большую скорость течения, с частицами окружающего воздуха.

2.7.3. Общая звуковая мощность возникающего шума

$$P_{\Sigma} = k \rho_c v_c^5 d_c^2 a_0^{-5} \text{ Вт}, \quad (2.27)$$

где k — коэффициент пропорциональности, который изменяется от $3,5 \times 10^{-6}$ до 7×10^{-6} в зависимости от начальных условий течения струи; ρ_c , v_c — плотность

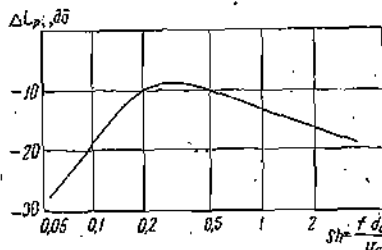


Рис. 2.15. Безразмерный спектр звуковой мощности струи

и скорость течения в начальном сечении струи; d_c — диаметр струи; a_0 — скорость звука в окружающей среде.

Общий уровень звуковой мощности

$$L_{P\Sigma} = 10 \lg P_{\Sigma} + 120 \text{ дБ}. \quad (2.28)$$

Частотные характеристики уровня звуковой мощности струи могут быть представлены в виде единой типовой безразмерной характеристики в зависимости от числа Струхала $Sh = f d_c / v_c$, где f — текущая частота.

Составляющие спектра уровня звуковой мощности в третьоктавных полосах частот

$$L_P = L_{P\Sigma} + \Delta L_P \text{ дБ}, \quad (2.29)$$

где ΔL_P — составляющие безразмерного спектра звуковой мощности струи, приведенные на рис. 2.15.

2.7.4. Общий уровень звукового давления L_{Σ} в трюках, расположенных на расстоянии r от начального участка струи:

$$L_{\Sigma} = L_{P\Sigma} - \theta - 20 \lg r + \Delta L_{\Sigma} \text{ дБ}, \quad (2.30)$$

где $\theta = 8 \text{ дБ}$ или 11 дБ при распространении звука в полусферу или сферу соответственно; ΔL_{Σ} — поправка на направленность, дБ, определяемая по рис. 2.16.

Зависимость спектральных составляющих шума струи от углового положения точки наблюдения может приближенно рассматриваться в двух угловых областях $20^\circ < \varphi < 60^\circ$ и $70^\circ < \varphi < 180^\circ$. В обеих угловых областях частотные характеристики уровня звукового давления могут быть представлены осредненными кривыми, и уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот

$$L = L_{\Sigma} + \Delta L \text{ дБ}, \quad (2.31)$$

¹ Написано А. И. Муминым.

Машина	Режим работы	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц						
		33	125	250	500	1000	2000	4000
Ленточные машины								
ЛДВ-50-1	$v = 50 \text{ м/мин}$	91	91	95	100	99	93	87
ЛДВ-50-4Т	$v = 100 \text{ >}$	95	94	98	101	101	99	95
ЛДТ-50-3	$v = 350 \text{ >}$	92	92	93	96	99	97	90
ЛД-50	$v = 250 \text{ >}$	97	95	94	98	99	93	85

Прядильные машины

ПЛ-76-7М	$n_{\text{вер}} = 11\,200 \text{ об/мин}$	107	116	115	114	114	112	106
ПЛ-76-10	$n_{\text{вер}} = 13\,200 \text{ об/мин}$	116	114	117	114	114	112	109

где ΔL — составляющие безразмерного спектра уровня звукового давления (рис. 2.17).

Этот метод справедлив для дозвуковых скоростей в диапазоне $0,5 < M < 1$, где $M = v/a_0$ (a_0 — скорость звука в струе). Однако без большой погрешности этот метод может быть рекомендован и для струй с чис-

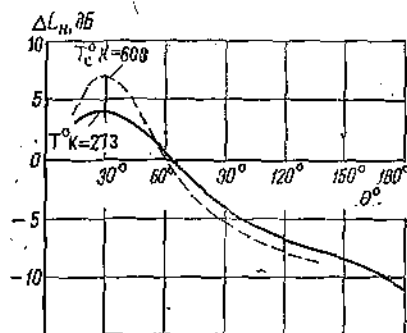


Рис. 2.16. Поправка на направленность суммарного шума струи

лом $M = 2$. При истечении струй из дозвуковых сопел при сверхкритических перепадах давления p_c на сопле звуковая мощность струи

$$P_{\Sigma} = P_1 + k_1 P_0^3 d_c^2 / \rho a_0^6 \text{ Вт}, \quad (2.32)$$

где P_1 — звуковая мощность струи, вычисленная по формуле (2.27); P_0 — давление среды, в которую проис-

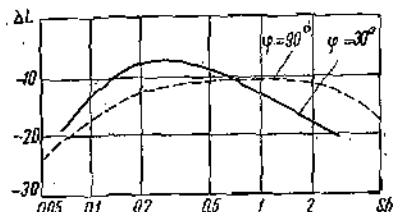


Рис. 2.17. Безразмерный спектр уровней звуковых давлений струи

ходит истечение; k_1 — коэффициент пропорциональности, определяемый по рис. 2.18; $p_c = P_c^*/P_0$, P_c^* — полное давление в струе на срезе сопла.

2.7.5. При малых скоростях истечения мощность звуковой мощности струи от скорости и становится другой. При $M < 0,12$ звуковая а струи может быть определена по формуле

$$P_{\Sigma} = k_2 \rho_0 v_c^4 d_c^2 a_0^{-1} \text{ Вт},$$

где $k_2 \approx 10^{-7}$.

В области средних скоростей $0,12 <$

$$P_{\Sigma} = k_3 \rho_0 v_c^6 d_c^2 a_0^{-3} \text{ Вт},$$

где $k_3 \approx 10^{-6}$.

На коэффициент пропорциональности в ф (2.33) и (2.34) большое влияние оказывают условия истечения струи. Так, увеличение н

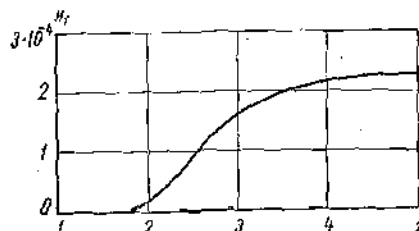


Рис. 2.18. Зависимость коэффициента пропорциональности от перепада давлений на сопле

турбулентности в два раза (с 3 до 6%) вызывание коэффициента пропорциональности в

Характеристика направленности шума $M < 0,5$ становится круговой.

2.7.6. Шумовые характеристики различных оборудования, полученные экспериментальными методами, изложенными в ГОСТ 8.055-73, в виде табличных данных уровней звуковой в октавных полосах частот.

Шумовые характеристики оборудования тельных центров и машинно-счетных станций¹ в табл. 2.10, шумовые характеристики холодильных автоматов¹ — в табл. 2.11, выбросы в табл. 2.12 и 2.13, прядильных машин² — в

¹ По данным Н. А. Могучевой и Ю. М. Павлова

² По данным А. Ф. Карпенко.

Уровни звуковой мощности шума оборудования вычислительных центров и машинно-считывающих станций, дБ

Оборудование	Марка оборудования	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Внешние устройства и элементы электронно-считывающих машин									
Алфавитно-цифровое печатающее устройство для машин «Урал»	АЦПУ	78	80	79	81	85	80	80	80
Цифровая печать на узкую ленту	МП-16-1	61	68	72	74	75	74	70	64
Автоматическая печатающая машинка	АПМ-2М	61	68	72	74	75	74	70	64
Устройство вывода информации	АЦПМ	80	84	86	86	84	83	79	76
Печатающий механизм для машины «Минск-22»	ТБ ПМ-16/1200	76	81	80	78	79	76	72	70
Алфавитно-цифровое печатающее устройство для машин БЭСМ-3М	АЦПУ-128	66	68	76	78	74	72	72	72
То же, для машины «Урал»	У-545	66	68	76	78	74	72	72	72
Контрольно-считывающее устройство	КСУ-1, КСУ	53	64	80	78	74	75	72	71
Перфоратор ленточный для машины «Минск-22»	ПЛ-20-2	53	64	80	78	74	75	72	71
То же, восьмидорожечный ленточный	ПЛ-80/8А	53	64	80	78	74	75	72	71
Перфоратор ленточный	ПЛ	53	64	80	78	74	75	72	71
Устройство для перфорирования телеграфной ленты	СТ-2М	70	66	66	68	70	69	70	68
Вычислительно-алфавитная машина с ленточным перфорирующим устройством	ВА-3450	70	66	66	68	70	69	70	68
Устройство, считывающее с перфоленты	М2-14	64	68	69	70	65	59	58	56
То же, для машины «Урал»	У-225	64	68	69	70	65	59	58	56
Устройство, считывающее для машины «Урал»	У-210	73	71	75	71	79	80	79	82
Перфоратор выводной для машины «Урал»	У-520	76	80	84	88	85	81	77	73
Устройство для перфорирования карт для машин «Урал»	У-525	69	69	70	71	72	72	72	73
Перфоратор репродукционный	ПР-80	81	81	84	86	86	84	80	74
Сумматор для машины М-20	—	65	70	69	72	70	69	60	52
Магнитный барабан	У-410	68	66	75	76	76	74	66	58
Устройство ввода информации с перфокарт	ВУ-700-2	68	68	73	82	79	78	74	67
Устройство для контроля перфокарт	У-145	68	68	73	82	79	78	74	67

Счетно-перфорационные машины

Табулятор	Т-5	74	76	76	80	80	75	77	76
»	Т-5М	75	80	82	82	82	81	81	81
»	Д-11	66	68	70	74	72	68	68	68
»	Т-4	68	70	72	72	73	72	74	72
Перфоратор репродукционный	ПР-80-2	65	68	74	78	80	78	76	66
» считывающий позиционный	ПС-80	65	68	74	78	80	78	76	66
Перфоратор итогово-дублирующий	ПИ-80-1, ПИ-45	65	68	74	78	80	78	76	66
» итогово-позиционный	ПИ-80-М	65	68	74	78	80	78	76	66
Машинка раскладочно-подборочная	РПМ-80-2М	64	73	77	80	79	77	77	76
Сортировальная машина	С-80-5М, С-45-5М	73	76	76	78	80	77	76	76
То же, электронная	СЭ-80-3	73	76	76	78	80	77	76	76
Перфоратор	П-80-6	65	68	71	74	73	74	75	75
» алфавитно-цифровой	ПА-80-2	65	68	71	74	73	74	75	75
» двухпериодный	ПД-45-2	65	68	71	74	73	74	75	75
Контрольные	К-80-6, К-45-6	67	67	70	70	70	70	68	67
Машина расшифровочная	КА-80-2	67	67	70	70	70	70	68	67
» электронная вычислительная	ЭВ-80-3М	67	67	70	70	70	70	68	67
»	ЭВ-80-3М	68	75	78	84	85	84	78	74

Машины клавишные вычислительные и суммирующие

Вычислительная машина	«Вильнюс»	57	49	57	59	61	58	65	61
То же, электронная клавишная	«Вера»	57	49	57	59	61	58	65	61
То же, многоклавишная автоматическая	ВММ-2	57	49	57	59	61	58	65	61
То же, полуматематическая	ВМП-2	57	49	57	59	61	58	65	61
Машина вычислительная	—	62	65	68	66	69	71	72	74
» вычислительно-алфавитная	ВА-345М	62	65	68	66	69	71	72	74
Машина суммирующая десятиклавишная	СДМ-107	58	63	64	68	68	63	60	58
То же	СДМ-133	60	66	60	64	59	58	58	58
То же, с дистанционным управлением	СД-107-Д	58	63	64	68	68	63	60	58
Машина суммирующая	САР	62	65	65	65	65	60	60	57

Местные автономные кондиционеры

Местный автономный кондиционер	1 КС-12	87	83	78	78	74	70	66	60
То же	КМ-17-00 «Харьков»	76	70	69	67	63	58	54	47

Уровни звуковой мощности шума, излучаемого холодновысадочными автоматами, дБ

Оборудование	Деталь	Диаметр, прутка, мм	Материал прутка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A 1914 A 1916 A 1617 AB 120	Шуруп Гайка Шуруп	1 1 4 4	Ст1 " " "	88 88 87 90	92 92 88 91	92 92 89 95	95 95 100 102	93 93 88 100	88 88 85 95	83 83 84 94	79 79 81 93
МВК-01	Винт Заклепка Шуруп	4 3 4	Ст10 В-65 Ст1	87 91 90	88 90 95	87 89 96	89 88 102	88 92 106	94 93 104	79 90 103	76 86 99
52BA	Заклепка "	4 4	В-65 В-65	90 83	92 86	96 94	100 93	102 100	102 97	98 96	94 98
53ВД	Болт "	4 8	Ст16 ХСН Ст30 ХСН	79 84	78 89	87 92	94 97	94 100	93 99	91 97	88 95
53BA обрезной	Болт	10	Ст30 ХГС	94	95	99	105	107	104	100	91
A 121Б	Шуруп Болт	6 6	Ст1 Ст10	94 92	94 96	99 98	101 99	101 100	98 98	95 96	92 91
101ГА	Гайка	7	Ст16 ХСН	87	91	95	104	98	93	89	83
82BA	Винт Болт Шпилька Заклепка	6 8 8 8	Ст16 ХСН Ст16 Ст45 Ст1	94 92 94 100	96 93 95 98	97 97 99 100	105 101 103 106	105 103 105 107	101 103 105 106	96 103 104 105	92 99 100 103
83BA	Болт "	6 6	Ст16 ХСН То же	86 94	89 95	93 99	98 105	101 107	101 104	100 100	93 91
A411	Гайка "	6 8	Ст15 Ст15ХСН	92 92	89 96	95 97	94 99	93 98	89 96	86 94	85 82
AB 411	Гайка	8	Ст15	93	94	98	97	95	92	85	82
A 231 обрезной	Шуруп Болт	6 10	Ст1 Ст16 ХСН	96 93	95 96	100 102	102 103	102 105	99 103	96 104	93 99
A 412	Гайка "	9 9	Ст15 "	85 93	96 104	99 103	105 104	97 101	93 97	92 95	90 90
A 128	Холостой ход Болт Шпилька	— 10 11	— Ст25 Ст45	97 99 95	100 100 98	108 106 104	107 110 108	106 110 108	104 106 109	99 104 108	95 98 104
М 68 «Нацнональ Кайзер»	Винт	6	Ст10	98	96	102	101	99	96	92	90
М 250	Винт "	4 6	Ст10 Ст10	88 95	88 96	89 98	94 102	93 103	91 102	90 100	90 93
250 С «Мавиль» 375 С «Аманда» 312 2 В	Болт " " "	4 14 5 3	ПС-62 Ст30ХГСА То же АМГ-5	83 89 88 82	88 97 94 79	92 100 97 86	88 106 102 94	100 110 104 94	97 104 100 94	97 98 99 91	83 93 94 84

Примечание. Уровни звуковой мощности, приведенные в табл. 1.10, справедливы только при соответствии метра и материала прутка изготовляемой детали указанным в таблице.

Уровни звуковой мощности шума, излучаемого электродинамическими вибростендами, дБ

Вибростенд	Изделия, при работе с которыми получаются принятые уровни звуковой мощности	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ВЭДС-10 ВЭДС-100	Датчик весом 0,3 кг Резонаторы различного веса при возбужде- нии на собственных частотах колебаний	80	74	84	91	90	82	89	69
		93	112	110	122	106	110	114	103
ВЭДС-300	Алюминиевая плита размером 0,5×0,4× ×0,012 м, весом 6,6 кг с укрепленным на ней бортовым самописцем весом 2,6 кг	116	117	107	108	111	111	111	89
ВЭДС-100	Сплошной цилиндр весом 90 кг	109	110	109	112	120	121	108	85
П-646	1. Панель фюзеляжа весом 120 кг 2. Корпус прибора размером 0,3×0,2× ×0,08 м, весом 0,5 кг	94	114	107	105	111	114	97	85
		94	114	107	105	111	114	97	86
П-881	Лопатки различного размера при возбужде- нии на собственных частотах колебаний	112	103	108	116	127	123	111	95
V-1000	1. Отсек хвостового оперения размером 0,5×0,5 м, весом 30 кг 2. Рама размером 0,6×0,5×0,7 м, весом 10 кг	90	95	115	120	124	117	127	116
		90	95	115	120	124	117	127	115
V-1003	Сплошной цилиндр весом 20 кг	90	110	103	100	96	103	97	87
VP-100	1. Резонаторы различного веса при возбуж- дении на собственных частотах колебаний 2. Корпус прибора размером 0,3×0,2× ×0,15 м, весом 2 кг	103	114	115	114	115	117	116	99
		103	114	115	114	115	117	116	99
VP-600	1. Плита с двумя крошечками размером 0,3×0,2×0,3 м, весом 25 кг 2. Резонаторы различного веса при возбуж- дении на собственных частотах колебаний	105	111	114	125	125	130	93	83
		105	116	114	125	125	130	93	83
ST-1000 ST-3000 ST-5000/300	Сплошной цилиндр весом 12 кг Сплошной цилиндр весом 10 кг Рама размером 0,7×0,5×0,4 м, весом 39 кг	95	95	96	100	97	94	90	92
		107	103	112	104	107	106	103	86
		102	105	113	115	123	121	115	108
УВЗ-20/5000	1. Стабилизатор самолета весом 250 кг 2. Крошечка весом 12 кг, размером 0,4× ×0,3×0,4 м	96	118	114	118	119	108	112	96
		96	118	114	118	119	108	112	96
ЭДВС-4000	Лопатки различного размера при возбужде- нии на собственных частотах колебаний	86	106	108	125	109	107	110	100
Ц-100А	Цилиндр диаметром 1,5 м, длиной 7 м	126	138	145	142	140	134	126	120

Примечания: 1. Уровни звуковых мощностей в области высоких частот, приведенные в табл. 2.11, излучаются вибростендами во время работы с указанными изделиями при возбуждении вибростендов на различных частотах с максимальными перегрузками.
2. Уровни звуковых мощностей в области низких частот, приведенные в табл. 2.11, излучаются вибростендами во время работы с изделиями малого веса и небольших размеров при возбуждении стоек на различных частотах с максимальными перегрузками.
3. Уровни звуковых мощностей, приведенные в таблице, приняты по наибольшим уровням из всех замеренных уровней звуковой мощности на различных режимах и по различным методикам.

Таблица 2.13

Уровни звуковой мощности шума, излучаемого механическими вибростендами, дБ

Вибростенд	Изделия, при работе с которыми излучаются принятые уровни звуковой мощности	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ВУС 500/200 ВУС 70/200 ВУТ	Цилиндр диаметром 0,4 м, длиной 2,5 м Рама весом 10 кг, размером 0,6×0,45×0,4 м Без изделия	116	129	120	121	120	118	116	110
		92	100	107	106	107	104	102	93
		85	96	99	103	104	102	97	86

Примечания: 1. Уровни звуковых мощностей, приведенные в табл. 2.12, излучаются вибростендами во время работы с указанными изделиями при возбуждении вибростендов на различных частотах с максимальными перегрузками.
2. Уровни звуковых мощностей, приведенные в таблице, приняты по наибольшим уровням из всех замеренных уровней звуковой мощности на различных режимах и по различным методикам.

2.8. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Задание. Определить уровни звукового давления и требуемое снижение шума, когда источники шума и расчетная точка расположены на открытой территории.

Дано. Шесть разных источников шума, расположенных на территории промышленной площадки, на которой есть административный корпус. Уровни звуковой мощности, излучаемой каждым источником, L_{Pi} и расстояния r_i от источников до расчетной точки, выбранной снаружи на расстоянии 2 м от окон административного здания, приведены в табл. 2.14.

Таблица 2.14

№ источника шума	Расстояние от источника до расчетной точки r_i , м	Уровни звуковой мощности (дБ) при среднегеометрической частоте, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	14	85	86	80	73	70	65	62	50
2	13	70	73	80	87	95	90	85	80
3	30	83	85	85	90	92	93	80	75
4	40	83	85	85	90	92	93	80	75
5	17	80	85	88	90	92	93	98	90
6	17	95	100	102	110	111	115	105	100

Решение. Рассчитываем по формуле (2.3) октавные уровни звукового давления в расчетной точке от каждого источника без учета затухания шума в атмосфере ($r_i < 50$ м). Расчет сводим в табл. 2.15. Нормативные уровни принимаем по табл. 2.1 (спектр ПС-45). Допустимые уровни звукового давления определяем по формуле (2.2), учитывая поправку $\Delta_n = +10$ дБ, так как расчетная точка выбрана снаружи здания. На основании

п. 2.5.5 для расстояний r_1, r_2, r_3, r_4 принимаем среднее значение

$$r_{ср1} = \frac{14+13+17+17}{4} = 15 \text{ м.}$$

которое и используем при расчетах уровней звукового давления L_1, L_2, L_3 и L_4 в расчетной точке. При определении L_5 и L_6 в расчет принимаем

$$r_{ср2} = \frac{30+40}{2} = 35 \text{ м.}$$

Так как для первого и четвертого источников шум выполняется условие $L_{доп} - L_i > 8$ дБ во всех частотных полосах, то, согласно п. 2.5.4, эти источники дальнейших расчетов не учитываются.

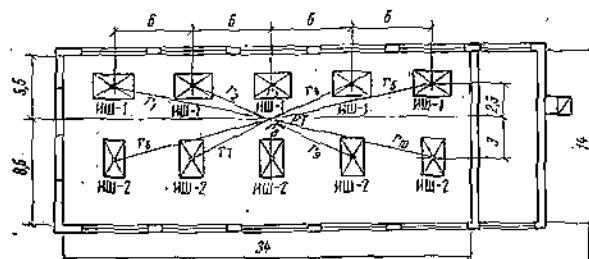


Рис. 2.19. Схема расположения расчетной точки РТ и источников шума ИШ в помещении (размеры в м)
 r — расстояние от источников шума до расчетной точки

Затем по формуле (2.23) определяем требуемое снижение шума для источников № 2, 3, 5 и 6 с учетом одновременной работы всех источников ($n = 4$).

Таблица 2.

№ п.п.	Величина, дБ	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	L_{P1}	Табл. 2.14	85	86	80	73	70	65	62	50
2	L_{P2}	То же	70	73	80	87	95	90	85	80
3	L_{P3}	"	83	85	85	90	92	93	80	75
4	L_{P4}	"	83	85	85	90	92	93	80	75
5	L_{P5}	"	80	85	88	90	92	93	98	90
6	L_{P6}	"	95	100	102	110	111	115	105	100
7	$20 \lg r_{ср. 1}$	—	24	24	24	24	24	24	24	24
8	$20 \lg r_{ср. 2}$	—	31	31	31	31	31	31	31	31
9	$10 \lg \frac{\Phi}{4\pi} (\Phi=2)$	—	-6	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
10	L_1	Ф-ла (2.3) [(п. 1) - (п. 7) + (п. 9)]	53	54	48	41	38	33	30	18
11	L_2	Ф-ла (2.3) [(п. 2) - (п. 7) + (п. 9)]	38	41	48	55	63	58	54	48
12	L_3	Ф-ла (2.3) [(п. 3) - (п. 6) + (п. 9)]	44	46	46	51	53	54	41	36
13	L_4	Ф-ла (2.3) [(п. 4) - (п. 8) + (п. 9)]	44	46	46	51	45	43	41	36
14	L_5	Ф-ла (2.3) [(п. 5) - (п. 7) + (п. 9)]	48	53	56	58	60	61	66	58
15	L_6	Ф-ла (2.3) [(п. 6) - (п. 7) + (п. 9)]	63	68	70	78	79	83	73	68
16	L_n	Табл. 2.1	71	61	54	49	45	42	40	39
17	Δ_n	Прим. 2 к табл. 2.1	10	10	10	10	10	10	10	10
18	$L_{доп}$	Ф-ла (2.2)	81	71	64	59	55	52	50	49
19	$10 \lg n (n=4)$	—	6	6	6	6	6	6	6	6
20	$\Delta L_{тр. 2}$	Ф-ла (2.23)	—	—	—	2	14	12	10	6
21	$\Delta L_{тр. 3}$	То же	—	—	—	—	4	8	—	—
22	$\Delta L_{тр. 5}$	"	—	—	—	5	11	15	22	15
23	$\Delta L_{тр. 6}$	"	—	3	12	25	20	37	29	15

Таблица 2.16

Величина; дБ	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_{P1}	95	106	110	105	105	103	101	98
L_{P2}	94	98	98	100	103	101	97	87

Пример 2. Задание. Определить требуемое снижение шума, когда источники шума и расчетная точка расположены в одном закрытом помещении.

Дано. В производственном помещении (рис. 2.19) объемом 6200 м³ (категории Б, по табл. 2.6) размещены равномерно десять источников шума (станков) двух типов: пять источников одного типа, обозначенных ИШ1, и пять — другого, обозначенных ИШ2. Уровни звуковой мощности, излучаемой каждым источником первого типа (L_{P1}) и второго типа (L_{P2}), приведены в табл. 2.16. Все источники шума работают одновременно.

Таблица 2.17

№ п.п.	Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	L_{P1}	дБ	Табл. 2.16	95	106	110	105	105	103	101	98
2	L_{P2}	"	То же	94	98	98	100	103	101	97	87
3	$\Delta_1 = 10^{0,1 L_{P1}}$	"	Табл. 2.8	$3,2 \times 10^9$	4×10^{10}	1×10^{11}	$3,2 \times 10^{10}$	$3,2 \times 10^{10}$	$2,0 \times 10^{10}$	$1,3 \times 10^{10}$	$5,3 \times 10^9$
4	$\Delta_2 = 10^{0,1 L_{P2}}$	"	То же	$2,5 \times 10^9$	4×10^9	$6,3 \times 10^9$	1×10^{10}	2×10^{10}	$1,3 \times 10^{10}$	5×10^9	5×10^8
5	$S_1 = S_4 = 2\pi r_2^2$	м ²	—	576	576	576	576	576	576	576	576
6	$S_5 = 2\pi r_3^2$	"	—	106	106	106	106	106	106	106	106
7	$S_7 = S_8 = 2\pi r_7^2$	"	—	600	600	600	600	600	600	600	600
8	$S_9 = 2\pi r_8^2$	"	—	146	146	146	146	146	146	146	146
9	$\frac{10^{0,1 L_{P1}}}{S_1}$	м ⁻²	—	$1,1 \times 10^7$	$1,4 \times 10^6$	$3,5 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	$6,9 \times 10^7$	$4,5 \times 10^7$	$2,2 \times 10^7$
10	$\frac{10^{0,1 L_{P1}}}{S_5}$	"	—	6×10^7	$7,5 \times 10^8$	$1,9 \times 10^9$	6×10^7	6×10^8	$3,8 \times 10^8$	$2,5 \times 10^8$	$1,2 \times 10^8$
11	$\frac{10^{0,1 L_{P2}}}{S_7}$	"	—	$8,4 \times 10^6$	$1,3 \times 10^7$	$2,1 \times 10^7$	$3,3 \times 10^7$	$6,7 \times 10^7$	$4,4 \times 10^7$	$1,7 \times 10^7$	$1,7 \times 10^6$
12	$\frac{10^{0,1 L_{P2}}}{S_9}$	"	—	$3,4 \times 10^7$	$5,5 \times 10^7$	$8,6 \times 10^7$	$1,4 \times 10^8$	$2,7 \times 10^8$	$1,8 \times 10^8$	$6,9 \times 10^7$	$6,9 \times 10^6$
13	$\frac{10^{0,1 L_{P1}}}{S_7}$	"	—	$1,1 \times 10^7$	$1,4 \times 10^6$	$3,5 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	$6,9 \times 10^7$	$4,5 \times 10^7$	$2,2 \times 10^7$
14	$\frac{10^{0,1 L_{P2}}}{S_9}$	"	—	$8,6 \times 10^6$	$1,3 \times 10^7$	$2,1 \times 10^7$	$3,3 \times 10^7$	$6,7 \times 10^7$	$4,4 \times 10^7$	$1,6 \times 10^7$	$6,9 \times 10^6$
15	—	—	Сумма пп. 9+10+11+12+13+14 Рис. 2.3, табл. 2.6	$1,3 \times 10^8$	$1,1 \times 10^9$	$2,7 \times 10^9$	1×10^7	$1,2 \times 10^9$	$7,9 \times 10^8$	$4,4 \times 10^8$	$1,7 \times 10^8$
16	$B_{ш1000} (V = 6200 \text{ м}^3)$	дБ	—	—	—	—	—	520	—	—	—
17	μ	—	Табл. 2.7	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
18	$B_{ш} = B_{ш1000\mu}$	дБ	—	260	360	266	364	520	832	1560	3120
19	$\frac{4}{B_{ш}}$	—	—	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$7,7 \times 10^{-3}$	$4,8 \times 10^{-3}$	$2,6 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$
20	$\sum_{i=1}^5 10^{0,1 L_{P1}} = 5 \cdot 10^{0,1 L_{P1}}$	—	—	$1,6 \times 10^{10}$	2×10^{11}	5×10^{11}	$1,6 \times 10^{11}$	$1,6 \times 10^{11}$	1×10^{11}	$6,5 \times 10^{10}$	$3,2 \times 10^{10}$
21	$\sum_{i=1}^5 10^{0,1 L_{P2}} = 5 \cdot 10^{0,1 L_{P2}}$	—	—	$1,3 \times 10^{10}$	2×10^{10}	$3,2 \times 10^{10}$	5×10^{10}	1×10^{11}	$6,5 \times 10^{10}$	$2,5 \times 10^{10}$	$2,5 \times 10^9$
22	—	—	Сумма пп. 20+21	$2,9 \times 10^{10}$	$2,2 \times 10^{11}$	$5,3 \times 10^{11}$	$2,1 \times 10^{11}$	$2,6 \times 10^{11}$	$1,6 \times 10^{11}$	9×10^{10}	$3,5 \times 10^{10}$
23	—	—	Произв. пп. 19-22	$4,4 \times 10^9$	$3,3 \times 10^9$	$7,4 \times 10^{10}$	$2,3 \times 10^9$	2×10^9	$7,7 \times 10^9$	$2,3 \times 10^8$	$4,6 \times 10^7$
24	—	—	Сумма пп. 19+23	$5,7 \times 10^9$	$4,4 \times 10^9$	1×10^{10}	$3,3 \times 10^9$	$3,2 \times 10^9$	$1,6 \times 10^9$	$6,7 \times 10^8$	$2,2 \times 10^8$
25	$L_{общ} = 10 \lg (24)$	дБ	Ф.ла (2.20)	67,7	96,4	100	95,2	95,1	92	88,3	83,3
26	$L_{доп} = L_H$ (ПС-85)	"	Ф.ла (2.2)	103	96	91	88	85	83	81	80
27	$\Delta L_{тр. общ.}$	"	Ф.ла (2.26)	—	—	9	7	10	—	7	3

Источники установлены на полу, поэтому принимаем для них $\Phi_i = \Phi = 2$. Расчетная точка расположена в середине помещения; между станками, на высоте 1,5 м от пола. Расстояния от акустических центров источников до расчетной точки: $r_1 = r_5 = 12,35$ м; $r_2 = r_4 = 6,7$ м; $r_3 = 2,9$ м; $r_6 = r_{10} = 12,5$ м; $r_7 = r_8 = 6,9$ м; $r_9 = 3,4$ м.

Максимальный размер любого из рассматриваемых источников не превышает $l_{\max} = 1,4$ м.

Решение. Октавные уровни звукового давления в расчетной точке определяем по формуле (2.20). Минимальное расстояние от расчетной точки до акустического центра ближайшего к ней источника $r_{\min} = r_3 = 2,9$ м и $4 r_{\min} = 11,6$ м. Общее количество принимаемых в расчет источников шума, расположенных вблизи расчетной точки, для которых $r_i \leq 4 r_{\min} =$

$= 11,6$ м, будет равно $m = 6$. Учитываются источники, расположенные на расстояниях $r_2 = r_4 = 6,7$ м; $r_3 = 2,9$ м; $r_7 = r_8 = 6,9$ м и $r_9 = 3,4$ м. Наибольший габаритный размер рассматриваемых источников $l_{\max} = 1,4$ м. Следовательно, для всех источников выполняется условие $2 l < r_i$ и можно принять $S_i = 2\pi r_i^2$. Величины $r_i/l_{\max} \geq 2$, поэтому $\chi_i \approx 1$ (рис. 2.13). По формуле (2.20), используя табл. 2.8, определяем суммарные уровни звукового давления $L_{\text{общ}}$ в расчетной точке от всех источников шума. Входящую в формулу (2.20) величину B_m определяем по графику рис. 2.3 в табл. 2.6 в 2.7. Затем по формуле (2.26) определяем требуемое снижение шума $\Delta L_{\text{тр. общ.}}$, приняв нормативные уровни звукового давления в расчетной точке по табл. 2.3 (спектр ПС-85).

Расчет сводим в табл. 2.17.

Глава 3 ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ В ЖИЛЫХ, ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ

3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1.1. Пути распространения шумов в зданиях показаны на рис. 3.1. Если в комнате I находится источник, излучающий шум в воздух и сообщающий перекрытию удары и вибрацию, то шумы от источника проникают в соседнюю комнату II, во-первых, непосредственно через отверстия и щели в ограждениях (звуковые волны 1); во-вторых, волны, излучаемые источником

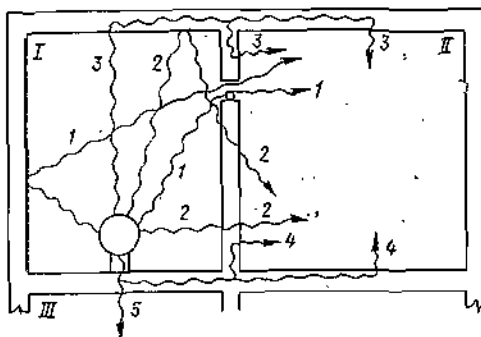


Рис. 3.1. Пути распространения шумов в зданиях

в воздух, падая на стену, разделяющую комнаты, вызывают колебания этой стены, которая сама становится источником шума и излучает его в комнату II (звуковые волны 2); в-третьих, звуковые волны источника возбуждают колебания других стен комнаты I, причем эти колебания передаются ограждениям комнаты II и являются в ней дополнительными источниками шума (звуковые волны 3). Распространение звуковых волн 3 называют косвенным путем распространения шума.

Наконец, вибрация источника приводит перекрытие в колебательное движение, которое распространяется по конструкциям здания (ударный или структурный шум). Колеблющиеся ограждения излучают звук в комнату II (звуковые волны 4). Кроме того, удары по перекрытию являются источником ударного шума в комнате III (звуковые волны 5).

3.1.2. Шум через ограждающие конструкции может проникать в помещения из окружающей атмосферы, если на прилегающей территории находятся источники шума, а также из шумных помещений на прилегающую территорию.

3.1.3. С шумом, проникающим через ограждения, можно бороться, применяя такие конструкции ограждений помещений, заполнения проемов (окна, ворота), мест прохода коммуникаций, которые обладают достаточной звукоизоляцией и обеспечивают снижение шума до уровней, допустимых по нормам.

3.2. НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

3.2.1. По действующим нормам проектирования ограждающих конструкций (СНиП II-Л.1-71 и СНиП II-Л. 2-72) стены и перегородки жилых и общественных зданий должны удовлетворять нормативным требованиям звукоизоляции от воздушного шума, а междуэтажные перекрытия — от воздушного и ударного шумов.

3.2.2. В жилых и общественных зданиях для ограждений, разделяющих помещения с одностипными спектрами шума, нормируемыми величинами являются: показатель изоляции от воздушного шума E_d и показатель изоляции от ударного шума E_f . Нормативные величины приведены в табл. 3.1.

Требования к звукоизоляции от воздушного шума стен и перекрытий не должны снижаться, если в них размещены шахты и каналы.

Показатель изоляции численно равен целому числу дБ, на которое нужно сместить нормативную кривую, чтобы среднее неблагоприятное отклонение кривой частотной характеристики измеренной или рассчитанной звукоизолирующей способности (или приведенного уровня ударного звука) от смещенной нормативной кривой не превышало 2 дБ.

3.2.3. Показатель изоляции конструкций от воздушного шума E_d определяют вычислением неблагоприятных отклонений частотной характеристики расчи-

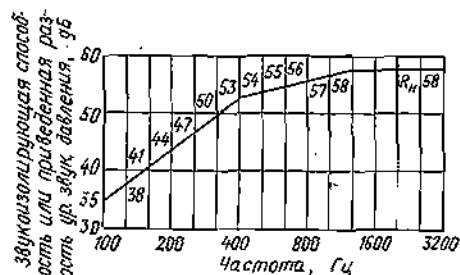


Рис. 3.2. Нормативная кривая звукоизолирующей способности от воздушного шума или приведенной разности уровней звукового давления

танной или измеренной звукоизолирующей способности от нормативной кривой, приведенной на рис. 3.2. Неблагоприятными считаются отклонения, расположенные ниже нормативной кривой.

Для ограждений с площадью менее 10 м² или со встроенными шахтами и каналами, а также для стен и перекрытий, площади которых различны в разделяемых ими помещениях (например, стена или перекрытие,

Нормативные величины показателя изоляции ограждающих конструкций зданий различного назначения

Конструкция	Показатель изоляции (ДБ) от шума	
	воздушного E_v	ударного E_y
Жилые здания		
Перекрытия между помещениями квартир	0	+3
То же, и неиспользуемыми чердачными помещениями	0	—
То же, и подвалами, холлами, лестничными клетками и используемыми чердачными помещениями	0	+3
То же, и расположенными внизу кафе, магазинами, спортивными залами, АТС и другими «шумными» помещениями	+10	+3
То же, и расположенными выше ресторанами, спортивными залами, кафе и другими «шумными» помещениями	+10	+20
Перекрытия между комнатами в двухэтажной квартире	-9	-5
Стены и перегородки между квартирами	0	—
Стены между помещениями квартир и лестничными клетками, холлами, коридорами, вестибюлями	0	—
То же, и ресторанами, спортивными залами, кафе, магазинами и другими «шумными» помещениями	+10	—
Перегородки без дверей между комнатами в квартире	-9	—
Перегородки между комнатами, кухней и санитарными узлом одной квартиры	-5	—
Входные двери квартир, выходящие на лестничные клетки, холлы, вестибюли и коридоры	-20	—
Перекрытия, отделяющее помещения культурно-бытового обслуживания общежитий, требующие звукоизоляции друг от друга и от помещений общего пользования (лестничные клетки, вестибюли, коридоры и др.)	-5	-5
Стены и перегородки, отделяющие помещения культурно-бытового обслуживания общежитий, требующие звукоизоляции друг от друга и от помещений общего пользования	-5	—

Примечание. Нормативные величины показателей изоляции ограждающих конструкций жилых комнат общежитий те же, что и ограждающих конструкций квартир.

Административные здания

Перекрытия между рабочими комнатами, кабинетами, секретариатами	-5	-5
Перекрытия, отделяющие рабочие комнаты, кабинеты, секретариаты от помещений общего пользования (лестничных клеток, вестибюлей, холлов)	-5	-5
Стены и перегородки между рабочими комнатами, кабинетами, секретариатами	-5	—
Стены и перегородки, отделяющие рабочие комнаты, кабинеты, секретариаты от помещений общего пользования (лестничных клеток, вестибюлей, холлов)	-5	—

Больницы и санатории

Перекрытия между палатами	-5	-5
Перекрытия между операционными и другими помещениями	-1	0
Перекрытия, отделяющие палаты, кабинеты врачей от помещений общего пользования (лестничных клеток, вестибюлей, холлов)	-1	0
Стены и перегородки между палатами	-5	—
Стены и перегородки, отделяющие палаты, операционные, читальные залы от помещений общего пользования (лестничных клеток, вестибюлей, холлов)	-1	—

Конструкция	Показатель изоляции (ДБ) от шума	
	воздушного E_v	ударного E_y
Школы и учебные заведения всех типов, кроме музыкальных		
Перекрытия между классами и аудиториями	-5	-5
Перекрытия, отделяющие классы в аудиториях от помещений общего пользования (лестничных клеток, вестибюлей, холлов)	-1	0
Стены и перегородки между классами и аудиториями	-5	—
Стены и перегородки, отделяющие классы, аудитории от помещений общего пользования (лестничных клеток, вестибюлей, холлов, рекреаций)	-1	—
Детские сады-ясли		
Перекрытия между групповыми комнатами и между детскими комнатами	-5	-5
Стены и перегородки между групповыми комнатами и между детскими комнатами	-5	—

отделяющее одно большое помещение от двух меньших), показатель изоляции от воздушного шума E_v определяется сравнением кривых приведенной разности измеренных уровней звукового давления с нормативной кривой. Приведенную разность уровней определяют по формуле (1.12).

3.2.4. Показатель изоляции перекрытий от ударного шума E_y определяют вычислением неблагоприятных отклонений частотной характеристики рассчитанного или измеренного приведенного уровня ударного шума от нормативной кривой, приведенной на рис. 3.3. Неблагоприятными считаются отклонения, расположенные выше нормативной кривой. Приведенный уровень ударного шума определяют по формуле (1.13).

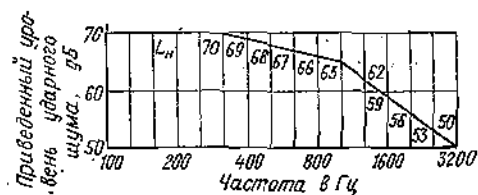


Рис. 3.3. Нормативная кривая приведенного уровня ударного шума

3.2.5. Чтобы определить показатель изоляции ограждающей конструкции от воздушного шума, должна быть известна частотная характеристика звукоизолирующей способности этой конструкции в диапазоне звуковых частот 100—3200 Гц в $1/3$ -октавных полосах со средними частотами 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 640, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 и 3200 Гц или в октавных полосах со средними частотами 125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Гц.

Если известна характеристика в $1/3$ -октавных полосах, то среднее неблагоприятное отклонение частотной характеристики звукоизолирующей способности от нормативной кривой принимается равным $1/3$ суммы всех неблагоприятных отклонений. При этом неблагоприятные отклонения на крайних частотах 100 и 3200 Гц берутся в половинном размере, а отклонения в сторону улучшения не учитываются.

Показатель изоляции от воздушного шума в случае, когда известна частотная характеристика звукоизолирующей способности в октавных полосах, определяют следующим образом. По оси ординат графика, на оси абсцисс которого отложены значения средних частот $1/3$ -октавных полос, откладываются значения звукоизолирующей способности для частот, совпадающих со средними частотами октавных полос. Нанесенные точки соединяют прямыми линиями. Полученную таким образом характеристику для $1/3$ -октавных полос сравнивают с нормативной кривой и вычисляют показатель звукоизоляции.

Если вычисленное среднее значение неблагоприятных отклонений равно или близко 2 дБ (но не более 2 дБ), то показатель изоляции конструкций равен нулю (0 дБ).

Если среднее значение неблагоприятных отклонений более 2 дБ , показатели изоляции от воздушного и ударного шумов вычисляют следующим образом. Нормативные кривые смещаются вертикально в худшую сторону (кривая на рис. 3.2 — вниз, на рис. 3.3 — вверх) на целое число децибел до тех пор, пока среднее неблагоприятное отклонение частотной характеристики звукоизоляции от нормативной кривой не будет равно или близко 2 дБ . При этом показатель изоляции, равный целому числу децибел, на которое сдвинута нормативная кривая, будет иметь знак минус.

Если среднее значение неблагоприятных отклонений меньше 2 дБ или нет неблагоприятных отклонений, показатели изоляции определяют следующим образом. Нормативная кривая смещается вертикально в лучшую сторону на целое число децибел до тех пор, пока среднее значение неблагоприятных отклонений частотной характеристики звукоизолирующей способности от нормативной кривой не будет равно или близко 2 дБ (но не более 2 дБ). В этом случае показатель звукоизоляции будет иметь знак плюс.

Пример (1) определения показателя изоляции от воздушного шума при известной частотной характеристике звукоизолирующей способности приведен в конце главы.

3.2.6. При проектировании внутренних и наружных ограждений промышленных зданий, а также ограждений, граничащих с помещениями, в которых расположено инженерное или сантехническое оборудование, в зданиях всех типов (в том числе и гражданских) нормативной величиной служит допустимый по нормам спектр звукового давления в расчетных точках (в помещениях или на прилегающей территории). Соответственно звукоизолирующая способность ограждений во всем диапазоне частот должна быть достаточной для его обеспечения.

Требуемую звукоизолирующую способность ограждения или его элемента определяют расчетом.

Требуемую звукоизолирующую способность от ударного шума для ограждающих конструкций промышленных зданий не рассчитывают, так как в промышленных зданиях уровни от ударного шума не нормируются.

3.2.7. Требуемую звукоизолирующую способность от воздушного шума рассчитывают в октавных полосах со средними частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Перед расчетом определяют общее количество ограждений или элементов ограждений (стены, перекрытия, окна, двери, остекленные проемы и т. п.), через которые шум может проникать в изолируемое помещение или в атмосферу.

Требуемую звукоизолирующую способность рассчитывают отдельно для каждого элемента ограждения (перекрытие, окно, дверь, глухая часть ограждения) по следующим формулам:

а) в случае проникания шума из помещения с ис-

точниками шума в смежное изолируемое помещение (рис. 3.4):

$$R_{\text{Тр}i} = L_{\text{Рсум}} - 10 \lg B_{\text{ш}} - 10 \lg B_{\text{н}} + 10 \lg S_i + 6 - L_{\text{доп}} + 10 \lg n \text{ дБ} \quad (3.1)$$

или

$$R_{\text{Тр}i} = L_{\text{ср}} - 10 \lg B_{\text{н}} + 10 \lg S_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg n \text{ дБ}, \quad (3.2)$$

где $L_{\text{Рсум}} = 10 \lg \sum_{k=1}^m 10^{0.1 L_{\text{Рк}}}$ — суммарный октавный

уровень звуковой мощности всех источников шума в помещении; определяется по табл. 1.3; $L_{\text{Рк}}$ — октавный уровень звуковой мощности, излучаемой рассматриваемым источником шума, дБ ; m — общее количество источников шума в шумном помещении; $B_{\text{ш}}$, $B_{\text{н}}$ — соответственно постоянные шумного и изолируемого помещений в данной октавной полосе частот, м^2 ; их определяют по п. 2.4.5; S_i — площадь рассматриваемого

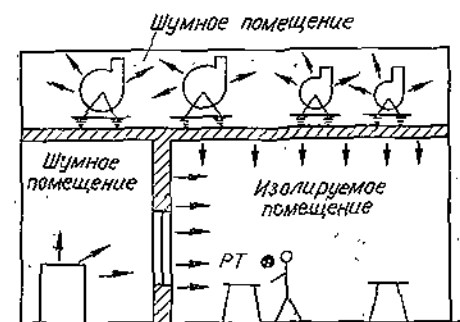


Рис. 3.4. Схема проникновения шума в расчетную точку PT из смежных шумных помещений

ограждения или его элемента, через которые шум проникает в изолируемое помещение, м^2 ; $L_{\text{доп}}$ — допустимый по нормам октавный уровень звукового давления в расчетной точке изолируемого помещения, дБ ; определяется по формуле (2.2); n — общее количество принимаемых в расчет отдельных элементов ограждений (см. примечание к случаю «а»); $L_{\text{ср}}$ — средний октавный уровень звукового давления в шумном помещении, дБ ; определяется измерением на действующих объектах с аналогичным оборудованием;

б) в случае проникания шума из помещения с источником шума в окружающую атмосферу (рис. 3.5):

$$R_{\text{Тр}i} = L_{\text{Рсум}} - 10 \lg B_{\text{ш}} + 10 \lg S_i - 20 \lg r_i - 5 - L_{\text{доп}} + 10 \lg n \text{ дБ} \quad (3.3)$$

или

$$R_{\text{Тр}i} = L_{\text{ср}} + 10 \lg S_i - 20 \lg r_i - 11 - L_{\text{доп}} + 10 \lg n \text{ дБ}, \quad (3.4)$$

где S_i — площадь рассматриваемого ограждения или отдельного элемента, через которое шум проникает в атмосферу, м^2 ; r_i — расстояние от элемента ограждения, через которое проникает шум, до расчетной точки, м . Остальные обозначения те же, что в формулах (3.1) и (3.2).

Примечание. Формулами (3.2) и (3.4) можно пользоваться только при ориентировочных расчетах при отсутствии шумовых характеристик оборудования;

в) в случае проникания шума из окружающей атмосферы в изолируемое помещение (рис. 3.6):

$$R_{\text{Тр}i} = L_{\text{сум}} + 10 \lg S_i - 10 \lg B_n + \\ + 6 - L_{\text{доп}} + 10 \lg n \text{ дБ}; \quad (3.5)$$

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \sum_{k=1}^m 10^{0,1 L_k} \text{ дБ}; \quad (3.6)$$

$$L_k = L_{P_k} - 20 \lg r_k - 8 \text{ дБ}, \quad (3.7)$$

где $L_{\text{сум}}$ — суммарный октавный уровень звукового давления, создаваемого всеми рассматриваемыми источниками шума, в промежуточной расчетной точке (А),

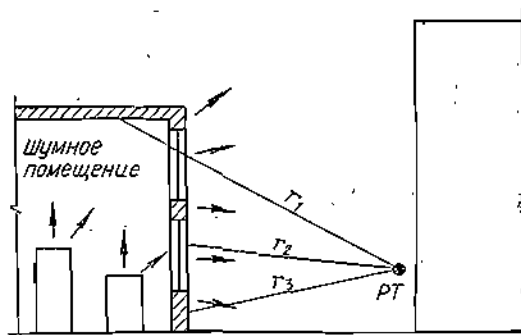


Рис. 3.5. Схема проникания шума из помещения в окружающую атмосферу (на территорию застройки)

расположенной на расстоянии 2 м от ограждающей конструкции снаружи изолируемого помещения, дБ; определяется по табл. 1.3; S_i , B_n , $L_{\text{доп}}$, n — то же, что в формуле (3.1); L_k — октавный уровень звукового давления, создаваемого рассматриваемым источником шума в промежуточной расчетной точке (А), дБ; m — общее количество принимаемых в расчет источников шума на прилегающей территории (определяется проектировщи

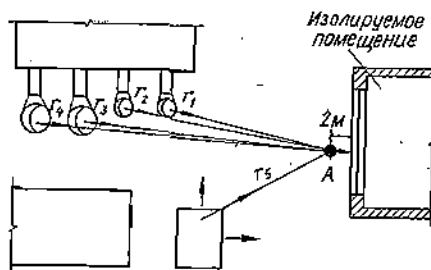


Рис. 3.6. Схема проникания шума из окружающей атмосферы в изолируемое помещение

ком); L_{P_k} — октавный уровень звуковой мощности каждого из источников шума, дБ; r_k — расстояние от рассматриваемого источника шума до промежуточной расчетной точки А, м.

Примечание. При расчетах требуемой звукоизолирующей способности в расчет не принимают элементы ограждений, для которых может быть обеспечена звукоизолирующая способность не менее чем на 10 дБ выше требуемой во всем диапазоне частот.

Примеры расчетов требуемой звукоизолирующей способности ограждающих конструкций с подбором подходящих конструкций даны в конце главы (примеры 2—5).

3.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ (СТЕН, ПЕРЕГОРОДОК И ПЕРЕКРЫТИЙ)

3.3.1. Проектирование ограждающих конструкций с учетом нормативных требований по звукоизоляции для помещений промышленных и других зданий выполняется на основе предварительного расчета частотных характеристик требуемой звукоизолирующей способности ограждений (см. п. 3.2.6).

3.3.2. Для помещений жилых и общественных зданий предварительно по технологической планировке и строительному заданию определяются нормативные показатели изоляции от воздушного и ударного шума (для перекрытий).

3.3.3. При проектировании ограждающих конструкций удобно пользоваться табличными данными звукоизолирующей способности различных конструкций (табл. 3.2—3.4). Эти таблицы составлены на основе систематизации имеющихся данных по наиболее распространенным конструкциям и материалам, полученных измерениями в лабораторных условиях¹ или расчетом. В этих же таблицах для конструкций, которые наиболее широко применяются при проектировании гражданских зданий, приведены рассчитанные в соответствии с пп. 3.2.3—3.2.5 значения показателей изоляции от воздушного и ударного шума.

При выборе ограждений по табл. 3.2—3.4 подходящей считается та конструкция, звукоизолирующая способность которой в каждой частотной полосе не ниже требуемой.

Допускается превышение требуемой по расчету звукоизолирующей способности, но не более 3 дБ и только в одной октавной полосе.

Если по таблицам не удается подобрать конструкцию, обладающую требуемой звукоизолирующей способностью, необходимо ее запроецировать на основании расчета. Приближенная методика расчета звукоизолирующей способности однослойных ограждающих конструкций приведена в п. 3.7.

3.3.4. Чтобы облегчить подбор ограждающих конструкций для промышленных зданий, дана классификация их элементов по категориям звукоизоляции — табл. 3.5. При этом конструкции ограждений с местным ослаблением звукоизолирующей способности из-за дверей и окон должны иметь примерно такую же среднюю звукоизолирующую способность, как глухое ограждение без местных ослаблений звукоизоляции.

3.3.5. Табл. 3.6 содержит примерный перечень помещений различного назначения, где необходимы ограждения, относящиеся к определенной категории звукоизоляции. В этой же таблице приведены ориентировочные частотные характеристики требуемой звукоизолирующей способности ограждений, которую можно обеспечить, используя набор элементов ограждений, соответствующих данной категории звукоизоляции (см. табл. 3.5).

3.3.6. Чтобы обеспечить «особую категорию» звукоизоляции, необходимо применять специальные конструкции. Стены в этом случае должны быть двойными на отдельных фундаментах, перекрытия — из монолит-

¹ Измеренные характеристики звукоизолирующей способности для стен и перекрытий представлены Московским научно-исследовательским институтом типового и экспериментального проектирования.

Звукоизолирующая способность стен и перегородок акустически однослойной конструкции, дБ

Материал конструкции	Толщина	Средняя поверхностная плотность, кг/м²	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц								Показатель изоляции от воздушного шума, дБ
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Кирпичная кладка (штукатуренная с двух сторон)	1/2 кирпича	220	32	39	40	42	48	54	60	60	
	1 кирпич	420	36	41	44	51	58	64	65	65	
	1 1/2 кирпича	620	41	44	48	55	61	65	66	66	
	2 кирпича	820	45	46	52	59	65	70	70	70	
	2 1/2 кирпича	1000	45	47	55	60	67	70	70	70	
Виброкирпичная панель 120 мм, оштукатуренная с двух сторон цементным раствором толщиной 20 мм	160 мм	250	—	34	40	42	48	53	53	—	-4
Виброкирпичная панель не оштукатуренная	160 »	280	—	34	41	46	50	54	56	—	-5
	140 »	240	—	33	40	43	49	54	56	—	-6
Железобетонная плита	40 »	100	—	32	36	36	38	47	63	—	-13
	50 »	125	28	34	35	35	41	48	55	55	
	100 »	250	34	40	40	44	50	55	60	60	
	160 »	400	—	43	47	51	60	63	—	—	0
	200 »	500	40	42	44	51	59	65	65	65	
	300 »	750	44	44,5	50	58	65	69	69	69	
	400 »	1000	45	47,5	55	61	67,5	70	70	70	
	800 »	2000	47,5	55	61	67,5	70	70	70	70	
Гипсобе́тонная (гипсолито-вая) плита	80 »	115	—	28	33	37	39	44	44	42	-11
	95 »	135	—	32	37	37	42	48	53	—	—
Керамзитобетонная плита	80 »	100	—	33	34	39	47	52	54	—	-10
	120 »	150	—	33	37	39	47	54	—	—	-7
Газобетонная плита	240 »	270	—	39	42	51	56	54	62	—	0
Пенобетонная панель, оштукатуренная с двух сторон	130 »	255	—	37	34	46	50	60	65	—	-5
Шлакобетонная панель	250 »	400	—	30	45	52	59	64	64	—	+1
	140 »	250	—	—	41	45	49	51	51	—	-3
Шлакоблоки, оштукатуренные с двух сторон	220 »	360	—	42	42	48	54	60	63	—	-1
Армированная силикатобетонная панель	140 »	300	—	34	41	48	55	69	59	—	0
Древесностружечная плита	20 »	12	—	23	26	26	26	26	26	23	—
Фанера¹	3 »	2,1	7	11	14	19	23	26	27	26	—
	4 »	3,2	8	12	16	20	24	27	27	27	—
	5 »	4	9	13	17	21	25	28	26	29	—
	8 »	6,4	12	16	20	24	27	27	27	32	—
	10 »	8	13	17	21	25	28	25	29	33	—
Стеклопластик¹	3 »	5,1	9	13	17	21	25	29	31	32	—
	6 »	8,5	12	16	20	24	28	31	31	34	—
	8 »	13,6	15	19	23	27	30	31	33	37	—
	10 »	17	17	21	25	28	31	31	34	38	—
Сталь¹ (панель с ребрами жесткости, размер ячеек между ребрами не более 1х1 м)	0,7 »	—	8	15	19	23	26	30	34	37	—
	1 »	7,8	13	17	21	25	28	32	36	35	—
	2 »	15,6	16	20	24	28	32	36	35	33	—
	3 »	23,4	19	23	27	31	35	37	30	39	—
	4 »	31,2	21	25	29	33	36	34	34	41	—
	5 »	39	22	26	30	34	37	32	36	42	—
	6 »	46,8	23	27	31	35	37	30	39	43	—
	8 »	62,4	24	28	32	36	34	33	40	44	—
Алюминиево-магнелиевые сплавы¹ (панели с ребрами жесткости, размер ячеек между ребрами не более 1х1 м)	1 »	2,8	6	10	12	18	22	25	29	28	—
	2 »	5,6	10	14	18	22	26	29	27	26	—
	3 »	8,4	12	16	20	24	28	31	22	30	—
	4 »	11,2	14	18	22	26	29	27	25	32	—

¹ По данным И. И. Боголепова.

Звукоизолирующая способность двойных стен и перегородок, ΔB

Элемент конструкции	Толщина, мм		Средняя по- верхно- стная плотность, ка/м ²	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц								Показате- ль изоля- ции от возду- шно-го шум ΔБ
	элемента	воз- душно- го за- зора		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Две кирпичные стены на общем фундаменте	380 и 510	150	1400	45	49	51	60	68	74	81	87	—
Две кирпичные стены на раздельном фундаменте	510 и 380	300	1400	59	61	65	72	80	88	95	100	—
Две гипсобетонные (гипсо- литовые) плиты на общем фундаменте	95	100 40	270 270	— —	41 36	43 40	42 45	48 47	56 52	62 57	— —	—5 —8
Две гипсошлакобетонные плиты на общем фундаменте	80	40	200	—	38	43	44	52	58	50	—	—2
Две железобетонные плит- ы на общем фундаменте	40	40	180	—	36	43	42	46	55	57	—	—7
Две керамзитобетонные плиты на общем фундаменте	60	60	150	—	33	36	43	51	57	57	—	—5
Гипсоволокнистая плита и плита сухой штукатурки с откосом	40 и 10	20	—	—	31	38	40	43	44	45	—	—11
Две гипсоволокнистые плит- ы с воздушным зазором между ними. Облицовка из плит сухой штукатурки с откосом на 20 мм	40 и 40 10	40	—	—	37	43	51	53	56	—	—	—2

ного железобетона, в том числе многослойные, двери и ворота — из стенового материала со специальной механизацией передвижения. Конструкция стеновых окон должна обеспечивать повышенную звукоизоляцию. Количество технологических коммуникаций должно быть минимальным, и они должны быть в специальном для каждого конкретного случая исполнении.

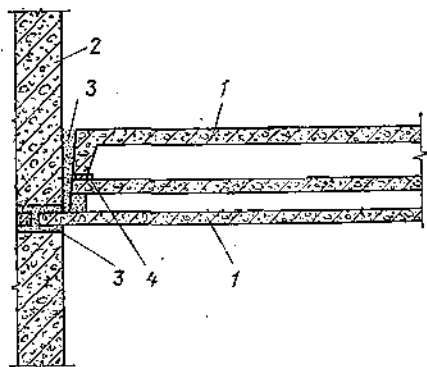


Рис. 3.7. Схема перекрытия раздельного типа

1 — панель перекрытия; 2 — стеновые панели; 3 — заделка раствором; 4 — полутвердая древесноволокнистая плита

3.3.7. Основным фактором, влияющим на величину показателя изоляции от воздушного шума акустически однослойных стен и перегородок, является средняя поверхностная плотность $1 м^2$ конструкции. Применяемые в строительстве бетонные, легкбетонные и тому подоб-

ные перегородки при средней поверхностной плотности $100—150 ка/м^2$ пригодны для применения в качестве межкомнатных перегородок.

Акустически однослойные стены из различных бетонов, кирпича и т. д. при средней поверхностной плотности не менее $400 ка/м^2$ обычно являются удовлетворительными по звукоизоляции в качестве межквартирных перегородок.

Чтобы повысить звукоизоляцию стен и перегородок или уменьшать их среднюю поверхностную плотность

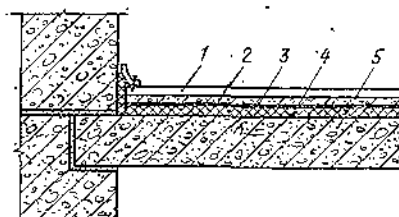


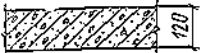
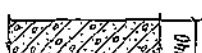


Рис. 3.8. Схема пола по сплошному упругому основанию или засыпке


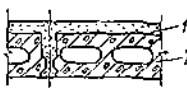
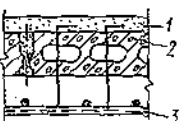
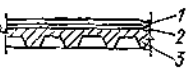

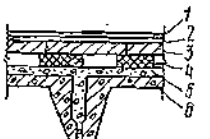
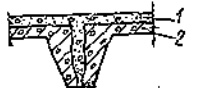
1 — чистый пол; 2 — бетонный или гипсошлакобетонный слой; 3 — пергамин; 4 — сплошная упругая прокладка или засыпка; 5 — несущая часть перекрытия

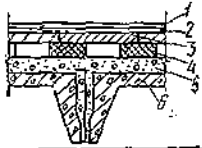
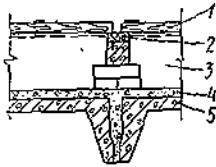
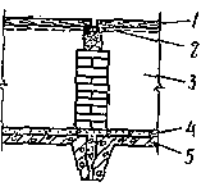

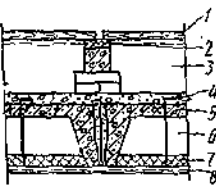
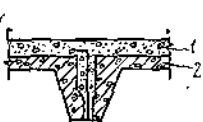
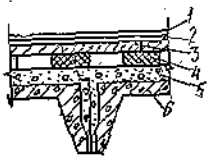
без ухудшения звукоизоляции, рекомендуется (когда это технически целесообразно) применять слоистые или раздельные конструкции.

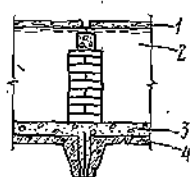
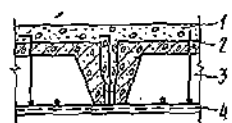
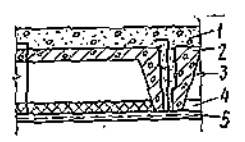
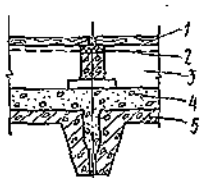
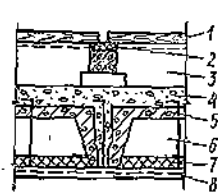
Звукоизолирующая способность однослойных стен и перегородок может быть повышена на 4—5 ΔB устрой-

Звукоизолирующая способность перекрытий, ΔB

№ п.п.	Эскиз	Конструкция перекрытия	Толщина элемента, мм	Средняя поверхностная плотность, кг/м^2	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц						Показатели изоляции, ΔB	
					125	250	500	1000	2000	4000	E_B	E_y
1		Железобетонная панель	120	300	42	45	61	58	58	—	-4	-16
2		То же, с полом: а) плитки ПВХ, древесностружечная плита, сплошная прокладка из мягких древесноволокнистых плит	3 20 25	323	37	42	51	58	58	58	+1	+4
		б) плитки ПВХ, древесностружечная плита, ленточные прокладки из мягких древесноволокнистых плит	3 20 25	320	39	43	47	53	57	58	0	+6
3		Железобетонная панель	140	350	40	47	52	56	61	—	-1	-14
4		То же, с полом: а) линолеум на войлочной подоснове	5	354	35	38	47	55	65	62	-2	0
		б) линолеум на тканевой подоснове, твердая древесноволокнистая плита, полутвердая древесноволокнистая плита	2 4 8	358	37	42	50	57	62	60	+1	-2
		в) паркетная клепка, твердая древесноволокнистая плита, мягкая древесноволокнистая плита	14 4 12,5	364	40	42	51	58	59	53	+1	+5
		г) плитка ПВХ, битумная мастика, полутвердая древесноволокнистая плита, битумная мастика	3 — 5	355	35	41	47	53	60	59	-1	-7
		д) паркетные доски, лаги 25x100 мм, через 400 мм, ленточные прокладки из мягких древесноволокнистых плит	25 — 12,5	368	37	43	52	62	67	63	+3	+5
5		Железобетонная плита с круглыми пустотами	160	250	37	38	47	53	57	57	-5	-16
6		То же, с полом: а) линолеум на мастике цементно-песчаная стяжка шлакобетонная панель сплошная прокладка из мягких древесноволокнистых плит	5 15 40 25	320	36	40	48	56	58	62	0	+4
		б) линолеум гипсовая стяжка шлакобетонная плита ленточные прокладки из мягких древесноволокнистых плит	4 10 45 25	300	42	45	52	59	65	68	—	—
7		Железобетонная панель с круглыми пустотами	220	300	—	—	—	—	—	—	-3	-15
8		То же, с полом: а) дощатый пол лаги ленточные прокладки из мягких древесноволокнистых плит	37 40 25	325	45	46	51	54	56	57	+2	+1
		б) паркет твердая древесноволокнистая плита асфальт засыпка шлаком	25 6 15 40-60	365	36	40	45	58	62	63	-1	+3

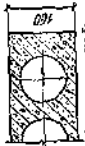

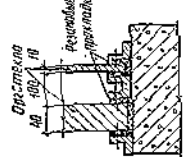
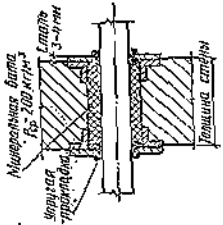
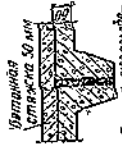
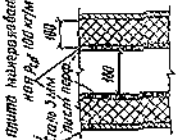
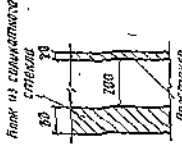
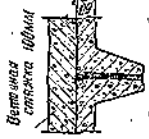
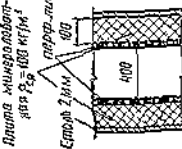
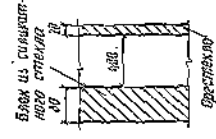
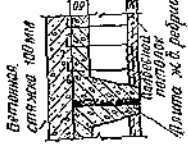
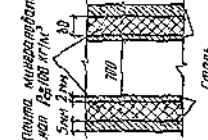
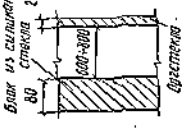
№ п.п.	Эскиз	Конструкция перекрытия	Толщина элемента, мм	Средняя поверхностная плотность, кг/м ²	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц						Показатель изоляции, дБ	
					125	250	500	1000	2000	4000	E _в	E _г
		а) плиточный релин гипсобе́тонная панель лепточные прокладки из мягких древесноволокни- стых плит засыпка песком	25 50 25 30	400	43	47	53	58	56	53	+3	+6
		г) паркетные доски лепточные прокладки из мягких древесноволокни- стых плит	16 40 25	310	38	45	51	54	60	64	+1	+3
		д) доски шпунт лаги лепточные прокладки из мягких древесноволокни- стых плит	28 40 12.5	320	31	42	51	55	65	70	0	+
9		Железобетонная плита с овал- ными пустотами	220	—	33	34	42	48	58	60	-8	—
10		Железобетонная плита с овал- ными пустотами 2 и бетонная стяжка 1	220 80	340	45	49	55	59	62	66	—	—
11		Железобетонная плита с овал- ными пустотами 2, бетонная стяжка 1; штукатурка по сет- ке Рибитиа 3	220 80 20	360	53	54	59	61	66	70	—	—
12		1 — линолеум; 2 — гипсовая стяжка 3 — железобетонная прокат- ная панель марки ПР-32- 37	4 5-7 100	100	29	31	37	46	54	61	—	—
13		1 — доски шпунт 2 — лаги 3 — упругие прокладки 4 — гипсовая стяжка 5 — железобетонная прокат- ная панель марки ПР-32- 37	40 50 20 5-7 100	200	32	36	47	59	63	66	—	—
14		1 — линолеум 2 — гипсовая стяжка 3 — шлакобетонная плита 4 — упругие прокладки 5 — гипсовая стяжка 6 — железобетонная прокат- ная панель марки ПР-32- 37	5-7 40 18-20 5-7 100	180	32	40	45	53	60	63	—	—
15		1 — бетонная стяжка 2 — железобетонная плита ти- па ИИ-64 (вын. 1, мар- ки П-1-1)	50 50	310	39	39	46	54	63	68	—	—

№ п.п.	Эскиз	Конструкция перекрытия	Толщина элемента, мм	Средняя поверхностная плотность, кг/м²	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц						Показатели изоляции, дБ	
					125	250	500	1000	2000	4000	E _в	E _г
16		1 — линолеум 2 — гипсовая стяжка 3 — шлакобетонная плита 4 — упругие прокладки 5 — бетонная стяжка 6 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марки П-1-1)	4 5-7 45 20-25 50 60	360	46	47	55	63	65	70	—	—
17		1 — пол из деревянных щитов, подшитых сеткой с асбестом 2 — упругая прокладка 3 — воздушный зазор 4 — бетонная стяжка 5 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марки П-1-1)	60 — 400 50 60	360	34	43	54	67	67	73	—	—
18		1 — пол из деревянных щитов, подшитых сеткой с асбестом 2 — упругая прокладка 3 — воздушный зазор 4 — бетонная стяжка 5 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марки П-1-1)	60 — 800 50 60	370	42	46	52	58	67	74	—	—
19		1 — бетонная стяжка 2 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марки П-1-1) 3 — воздушный зазор 4 — минераловатные плиты 5 — штукатурка по сетке Рабица	50 60 240 50 20	340	47	50	55	59	64	69	—	—
20		1 — пол из деревянных щитов, подшитых сеткой с асбестом 2 — упругая прокладка 3 — воздушный зазор 4 — бетонная стяжка 5 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марки П-1-1) 6 — воздушный зазор 7 — минераловатные плиты 8 — штукатурка по сетке Рабица	60 — 400 50 60 240 50 20	390	63	56	58	60	63	63	—	—
21		1 — бетонная стяжка 2 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марки П-1-1)	100 60	500	42	47	56	60	65	68	—	—
22		1 — линолеум 2 — гипсовая стяжка 3 — шлакобетонные плиты 4 — упругая прокладка 5 — бетонная стяжка 6 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марки П-1-1)	4 5-7 40 20 100 60	560	51	54	60	67	69	71	—	—

№ п.п.	Эскиз	Конструкция перекрытия	Толщина элемента, мм	Средняя плотность, кг/м³	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц						Показатели изоляции, дБ	
					125	250	500	1000	2000	4000	E _н	E _у
23		1 — пол из деревянных щитов, подшитых сеткой с асбестом 2 — воздушный зазор 3 — бетонная стяжка 4 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марка П-1-1)	60 740 100 60	550	52	56	59	62	67	70	—	—
24		1 — бетонная стяжка 2 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марка П-1-1) 3 — воздушный зазор 4 — штукатурка по сетке Рабита	100 60 300 20	510	50	55	56	60	65	68	—	—
25		1 — бетонная стяжка 2 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марка П-1-1) 3 — воздушный зазор 4 — минераловатные маты 5 — штукатурка по сетке Рабита	100 60 240 50 20	520	53	52	56	60	68	69	—	—
26		1 — пол из деревянных щитов, подшитых сеткой с асбестом 2 — упругая прокладка 3 — воздушный зазор 4 — бетонная стяжка 5 — железобетонная плита ИИ-64 (вып. 1, марка П-1-1)	60 — 240 100 60	530	46	55	59	62	66	67	—	—
27		1 — пол из деревянных щитов, подшитых сеткой с асбестом 2 — упругая прокладка 3 — воздушный зазор 4 — бетонная стяжка 5 — железобетонная плита типа ИИ-64 (вып. 1, марка П-1-1) 6 — воздушный зазор 7 — минераловатные маты 8 — штукатурка по сетке Рабита	60 — 240 100 60 240 50 20	560	57	59	62	62	67	73	—	—

Классификация элементов ограждающих конструкций по категориям звукоизоляции

Элемент

Категория	Стена	перекрытие глухое	дверь или ворота	смотровое окно	технологические коммуникации
I	Глухая кирпичная толщиной 125 мм (1/2 кирпича); глухая железобетонная толщиной 80 мм или кирпичная толщиной 250 мм (1 кирпич) при наличии дверей и окон общей площадью до 10% всей поверхности стены		 Стена 5 мм до Стала 2 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм Разделение правый-левый	 Орестало 40 100 10 Резиновое уплотнение	 Аналогичная балка Чугунная труба Стала 3-4 мм Уплотнение
II	Глухая кирпичная толщиной 350 мм (1 1/2 кирпича); глухая железобетонная толщиной 200 мм или кирпичная толщиной 380 мм (1 1/2 кирпича) при наличии дверей и окон общей площадью до 10% всей поверхности стены	 Внутренняя стена 30 мм Листа железобетонная, ребристая	 Внутренняя стена 30 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм	 Внутренняя стена 30 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм	Аналогично I категории
III	Глухая кирпичная толщиной 350 мм (1 1/2 кирпича); глухая железобетонная толщиной 400 мм или кирпичная толщиной 510 мм (2 кирпича) при наличии дверей и окон общей площадью до 10% всей поверхности стены	 Внутренняя стена 40 мм Листа железобетонная, ребристая	 Внутренняя стена 40 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм	 Внутренняя стена 40 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм	Внутренняя стена 40 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм
IV	Глухая кирпичная толщиной 625 мм (2 1/2 кирпича); глухая железобетонная толщиной 800 мм или двойная кирпичная толщиной 380 мм и 510 мм с зазором 150 мм на обшивку фундамента при наличии дверей и окон площадью до 10% всей поверхности стены	 Внутренняя стена 40 мм Листа железобетонная, ребристая	 Внутренняя стена 40 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм	 Внутренняя стена 40 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм Листа мин-веролоба-ноба 2-400 мм	Аналогично III категории

Классификация помещений по категориям звукоизоляции

Категория звукоизоляции	Классификация помещений	Требуемая звукоизолирующая способность (ДБ) (не выше) при среднегеометрической частоте, Гц						
		63	125	250	500	1000	2000	4000
	Шумные помещения в корпусах механических цехов (помещения холодной высадки и выколотки, штамповки мелких деталей, испытательный пневмогидроагрегат и малых электрических машин, вычислительных центров), шумные помещения в деревообрабатывающих цехах и на предприятиях легкой промышленности, граничащие с тихими помещениями	34	39	39	39	47	56	60
II	Шумные помещения в производственных корпусах (помещения клеевых металлических конструкций, машинные залы компрессорных, боксы испытания агрегатов с мощными электроприводами, боксы испытания поршневых двигателей и т. п.), граничащие с малозащитными помещениями, например с конструкторскими или лабораторными и т. п.	40	40	42	46	56	63	68
III	Боксы испытания газовых турбин, газотурбинных двигателей и их агрегатов; отражающие конструкции компрессорных стаций, лабораторий вибрационных испытаний, испытательных стаций поршневых двигателей, шумные помещения в одноэтажных и многоэтажных производственных зданиях, граничащие с тихими помещениями	42	42	45	53	60	65	68
IV	Боксы испытания с высоким уровнем шума (свыше 145 ДБ); очень шумные помещения, граничащие с тихими и малозащитными (например, испытательный бокс и кабины наблюдения, бокс и административный корпус, вентиляционная камера и конструкторский зал и т. п.)	44	44	52	56	60	65	68
Особая	Заглушенные камеры и другие сооружения со специальными требованиями к звукоизоляции	По специальному расчету						

ством тонкой стенки на отnose (например, сухая штукатурка на отnose). Тонкую стенку крепят по каркасу с воздушным промежутком толщиной не менее 4 см, а места ее соединений шпаклюют и оклеивают серпянкой.

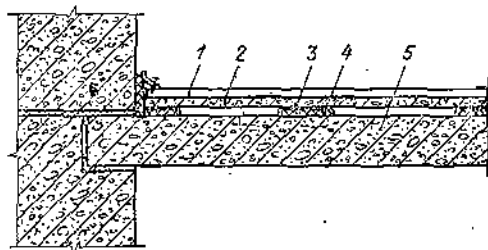


Рис. 3.9. Схема пола по ленточным прокладкам из упругого материала

1 — чистый пол; 2 — гипсцементная и тому подобная плита размером на комнату; 3 — пергамин; 4 — ленточная упругая прокладка; 5 — несущая часть перекрытия

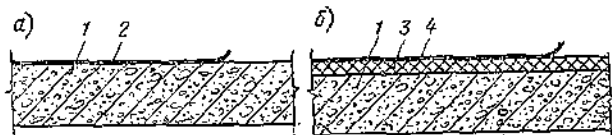


Рис. 3.10. Схемы полов из рулонных материалов

а — из слоистого линолеума; б — из обычного линолеума, 1 — панель перекрытия; 2 — линолеум на упругой подкладке; 3 — полутвердые древесноволокнистые плиты; 4 — обычный линолеум (без упругой подкладки)

3.3.8. Повышение изоляции от воздушного и ударного звуков междуэтажных перекрытий без увеличения их средней поверхностной плотности достигается при менении отдельных конструкций со сплошным возду-

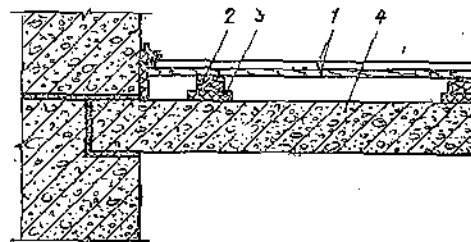


Рис. 3.11. Схема пола по деревянным лагам, уложенным на отдельные прокладки

1 — паркет по настилу или брусчатый пол шпунт; 2 — лага; 3 — прокладка из упругого материала; 4 — несущая часть перекрытия

ным промежутком (рис. 3.7). В местах опирания верхнего элемента разделяющего перекрытия на нижний должны укладываться упругие прокладки из материала типа А и Б (см. табл. 3.7).

Повышение звукоизоляции достигается также устройством перекрытий с подвесными потолками из несущих материалов.

3.3.9. В перекрытиях нераздельного типа для обеспечения нормативной изоляции от ударного и воздушного звуков следует применять полы специальных конструкций:

а) пол на упругом основании: а) по сплошному основанию из упругих материалов или по засыпке

Таблица 3.7

Характеристики материалов для упругих прокладок

Материал	Средняя плотность ρ , кг/м ³	Минимальная толщина прокладок в несущем состоянии b_0 , мм	Расчетный модуль упругости при удельной нагрузке*		Расчетная удельная статическая нагрузка, кПа	Допускаемые напряжения $\sigma_{доп}$, кПа
			статический $E_{ст}$, кПа	динамический E_d , МПа		
Тип А						
Маты минераловатные, прошитые в бумаге, ГОСТ 9573-60	100	30	15	0,3	2	10
	100	30	20	0,5	5	10
	100	30	30	0,9	10	10
Маты минераловатные на синтетической связке, ГОСТ 9573-60, МРТУ 6-11-14-64	150	30	15	0,4	2	10
	150	30	20	0,8	5	10
	150	30	30	1,5	10	10
Маты из стекловолокна, простеганные, ГОСТ 2245-43	50	40	15	0,1	2	10
	50	40	20	0,3	5	10
	50	40	30	0,7	10	10
Плиты минераловатные и стекловолокнистые на синтетической связке, ГОСТ 9573-60, СТУ 35-462-63	100	40	15	0,3	2	20
	100	40	20	0,5	5	20
	100	40	30	0,9	10	20
	100	40	40	1,3	15	20
	150	40	15	0,4	2	30
	150	40	20	0,8	5	30
	150	40	30	1,5	10	30
150	40	40	2,1	15	30	
Тип Б						
Древесноволокнистые, изоляционные плиты, ГОСТ 4598-60	200-250	25	300	1,4	2	40
	200-250	25	300	1,9	5	40
	200-250	25	300	2,5	10	40
	200-250	25	300	3,1	15	40
	200-250	25	300	3,7	20	40
Тип В						
Засыпка из шлака с крупностью частиц 3-15 мм	800-900	60-80	—	—	—	—
Засыпка из сухого песка	1500-1700	60-80	—	—	—	—

* 1 кПа = 10³ Па (Н/м²) = 10⁻² кгс/см²; 1 МПа = 10⁶ Па = 10 кгс/см².

(рис. 3.8); б) по ленточным или отдельным прокладкам из упругих материалов (рис. 3.9);

2) рулонный пол (рис. 3.10). В этом случае изоляция от воздушного звука перекрытий должна обеспечиваться несущей частью перекрытия;

3) пол на деревянных лагах (рис. 3.11).

Деревянные лаги при устройстве на них полов должны опираться на упругие прокладки (в виде сплошных или отдельных прокладок). Ширину прокладок рекомендуется делать на 5 см более ширины лаги, а длину — определять расчетом из условия, что напряжение в прокладках из материалов типов А и Б должно соответствовать табл. 3.7.

В табл. 3.8 приведены экспериментальные величины улучшения показателя изоляции от ударного шума для несущих плит перекрытий благодаря применению мягких рулонных покрытий полов.

Таблица 3.8

Улучшение показателя изоляции от ударного звука для различных рулонных покрытий полов

Материал	Толщина, мм	Улучшение показателя изоляции ΔE_u , дБ
Теплозвукоизоляционный поливинилхлоридный линолеум (ТЗИЛ ПВХ) на основе дубяных волокон:		
а) комбината «Стройиндустрия», Киев	5,5	25
б) завода синтетических строительных материалов и деталей, Колпино	—	20
в) комбината «Стройпластмасс», Мытищи	3,5	18
ТЗИЛ ПВХ на кападной подкладке (Архангельский комбинат стройпластмасс)	3-4 4-5 7	18 19 20
ТЗИЛ на вязальско-прошивной основе из дубяных волокон, холодное дублирование (Ленинград)	3,6	18
ТЗИЛ на иглопробивной латексированной основе из дубяных волокон, горячее дублирование	3,8	21
ТЗИЛ на иглопробивной основе из вторичных отходов с защитным синтетическим слоем, горячее дублирование	4,4	25
ТЗИЛ на иглопробивной основе из поливинилхлоридных волокон, холодное дублирование	3,7	23
ТЗИЛ на иглопробивной основе из восстановленной шерсти и синтетики (дублирование) (Ленинград)	4,7	25
ПВХ линолеум с иглопробивной черной основой, армированной вязальско-прошивной ниткой	5,7	31
Дублированный теплозвукоизоляционный линолеум на вязальско-прошивной подкладке (Ленинград)	3,7	18
Двуслойный элаин на асбестовой подоснове (таллинский завод «Силикат»)	3,7	18
Линолеум на основе из термостойкого пластика	2	18
Ворсовые бесшпательные на вязальско-прошивной подкладке	4,5	20
Тафтинговые ковры с петлевым ворсом (50% синтетического волокна + 50% м/а)	7,9	32
Тафтинговые ковры с петлевым ворсом (100% синтетических волокон)	7,2	31
Трикотажные ковры с петлевым ворсом	5,1	27
Трикотажные ковры с разрезным ворсом	8,2	34
Группа ворсовых бесшпательных: с рифленной поверхностью	4,25	21
с гладкой поверхностью	2,7	17
на чистотой основе	3,6	19
Иглопробивные латексированные ковры	5,24	23

3.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВЕРЕЙ И ВОРОТ

3.4.1. Звукоизолирующая способность сложных стен, имеющих дверные или оконные проемы, зависит от звукоизоляции дверей и окон. Поэтому при проектировании и возведении зданий серьезное внимание должно быть обращено на обеспечение максимальной звукоизоляции проемов.

Среднюю звукоизолирующую способность сложного ограждения, например стены с дверью и окном, определяют по формуле

$$R_{ср} = 10 \lg \frac{\sum_{k=1}^m S_k}{\sum_{k=1}^m S_k \cdot 10^{-0,1 R_k}} \quad \text{дБ.} \quad (3.8)$$

где S_k — площадь отдельного элемента сложного ограждения (глухой части стены, окна или др.), м²; R_k — звукоизолирующая способность этого элемента, дБ.

В случаях когда сложное ограждение состоит только из двух элементов (например, стена с дверью или стена с окном), удобно пользоваться графиком (рис. 3.12).

Звукоизолирующая способность дверей в дБ

№ п.п.	Конструкция	Условия прилегания по периметру притвора	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Обыкновенная филенчатая дверь	Без уплотняющих прокладок	7	12	14	16	22	22	20	—
		С уплотняющими прокладками из резины	12	18	19	23	30	33	32	—
2	Глухая щитовая дверь марки ДБ-8 толщиной 40 мм (ГОСТ 6620-58), облицованная с двух сторон фанерой толщиной 4 мм	Без уплотняющих прокладок	(17)	22	23	24	24	24	23	—
		С уплотняющими прокладками из резины	(22)	27	27	32	35	34	35	—
3	Типовая дверь П-327	Без уплотняющих прокладок	—	(13)	23	31	33	34	36	44
		С уплотняющими прокладками из пористой резины	—	(29)	30	33	35	39	41	42
4	Щитовая дверь из твердых древесноволокнистых плит толщиной 4—6 мм с воздушным зазором 50 мм, заполненным стекловатой (см. рис. 3.13)	Без уплотняющих прокладок	(17)	25	26	30	31	28	29	—
		С уплотняющими прокладками из пористой резины	(23)	28	30	33	36	32	30	—
5	То же, с заполнением минеральным войлоком	Без уплотняющих прокладок	—	24	24	28	27	25	24	—
		С уплотняющими прокладками из пористой резины	—	28	28	32	34	32	32	—

Примечание. В этой таблице и в последующих в скобках даны ориентировочные значения.

На этом графике R_0 — звукоизолирующая способность глухой части стены, дБ; R_0 — то же, для элемента (двери, окна или др.) с меньшей звукоизоляцией, дБ; $k, \%$ — процент площади, занятой элементом с меньшей

звукоизоляцией. Пример (13) определения R_{cp} дан в конце главы.

3.4.2. В случаях когда необходимо определить показатель изоляции от воздушного шума стены с дверью или окном, вычисляют среднюю звукоизолирующую способность такого сложного ограждения в октавных полосах по формуле (3.8) или по графику (рис. 3.12), которую затем переводят в характеристику для $1/3$ -октавных полос (см. п. 3.2.5). Полученную частотную характеристику сравнивают с нормативной кривой на рис. 3.2. Определение показателя изоляции E см. в пп. 3.2.3 и 3.2.5.

3.4.3. Частотные характеристики звукоизолирующей способности дверей различной конструкции, применяемых в гражданских и в промышленных зданиях, приведены в табл. 3.9. Там же приведена характеристика двери улучшенной конструкции, имеющей деревянную рамку из брусков 75×46 мм, облицованной с обеих сторон твердыми древесноволокнистыми плитами с наполнителем из минерального войлока или стекляной ваты (рис. 3.13), с уплотняющими прокладками из пористой резины в притворах и без них. Звукоизолирующая способность таких сплошных дверей значительно больше, чем обычных филенчатых дверей.

Увеличение звукоизолирующей способности филенчатых дверей достигается увеличением средней поверхностной плотности полотна двери, плотной пригонкой полотна к коробке (допускаемый просвет не более 1 мм), а также устранением щели между дверью и полом при помощи порога или фартука из прорезиненной ткани или резины (рис. 3.14).

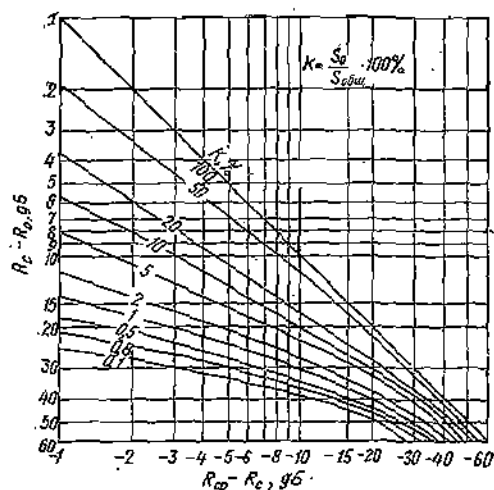


Рис. 3.12. Номограмма для определения средней звукоизолирующей способности ограждений неоднородной конструкции

Звукоизолирующая способность дверей и ворот повышенной звукоизоляции, дБ

Конструкция	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Дверь звукоизолирующая облегченная одинарная (рис. 3.15)	(14)	18	30	39	42	45	42	(45)
То же, двойная (зазор ≥ 200 мм)	(16)	25	42	55	58	60	60	(60)
Дверь и ворота звукоизолирующие тяжелые одинарные	(22)	24	36	45	51	50	49	(56)
То же, двойные (зазор ≥ 300 мм) (рис. 3.17)	(26)	34	46	60	65	65	65	(65)
Дверь и ворота звукоизолирующие тяжелые одинарные (рис. 3.16)	(23)	33	42	49	57	57	57	(70)
То же, двойные с облицовкой тамбура	(30)	45	58	65	70	70	70	(70)

на рис. 3.15—3.17. Звукоизолирующая способность дверей и ворот повышенной звукоизоляции приведена в табл. 3.10.

3.4.5. Для помещений I категории звукоизоляции (табл. 3.6) применяют двойные облегченные двери из

Применение уплотняющих прокладок в притворах дверей при одновременном устройстве порога с уплотняющей прокладкой увеличивает звукоизолирующую способность двери в среднем на 7 дБ, а при устройстве фартука (волокуши) — на 5 дБ. Увеличение количества фальцев в притворах дверей также улучшает звукоизоляцию. Чтобы двери плотно закрывались, желательно снабжать их затворами с защелкой. Замки, замочные

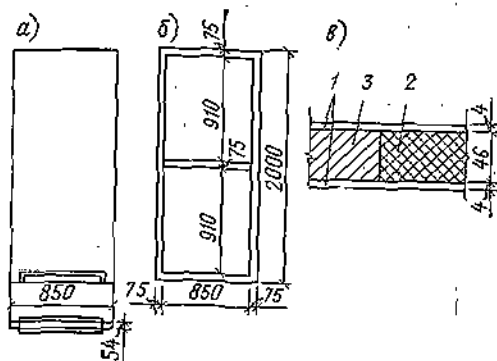


Рис. 3.13. Слоистая щитовая дверь

а — общий вид; б — деревянная рама; в — деталь двери; 1 — твердая древесноволокнистая плита; 2 — звукопоглощающий материал (стеклянная вата или минеральный войлок); 3 — обивка двери (рамка)

скважины и ключи должны быть минимальных размеров. Замочные скважины следует прикрывать металлическими пластинками, легко скользящими в направляющих.

Для изготовления дверей нужно применять хорошо высушенную древесину (с влажностью не более 10—12%). Все неплотности и щели между коробкой двери и перегородкой или стеной следует тщательно заделывать.

Входные двери в квартиры желательно делать двойными с тамбуром, так как звукоизоляция обычно при обмене входных однослойных дверей недостаточна для обеспечения необходимой звукоизоляции квартир от шума, возникающего на лестничной клетке, особенно при работе лифта. Со стороны лестничной клетки двери рекомендуется обивать плотной тканью или клеенкой или войлоку с наплавками над щелями по периметру двери.

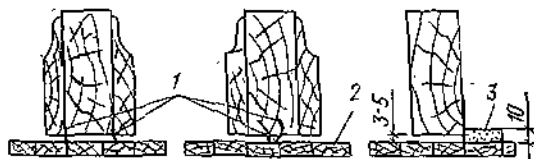


Рис. 3.14. Варианты решений закрытия щелей между полом и дверью

1 — полосовая резина; 2 — пол; 3 — съемный дубовый порог

В четвертях коробок и притворах следует устанавливать уплотняющие резиновые, войлочные и тому подобные прокладки.

3.4.4. В случаях когда требуется звукоизолирующая способность дверей (ворот) больше той, которая обеспечивается типовой дверью П-327 (см. табл. 3.9), применяют специальные двери (ворота) с повышенной звукоизоляцией. Примеры таких конструкций показаны

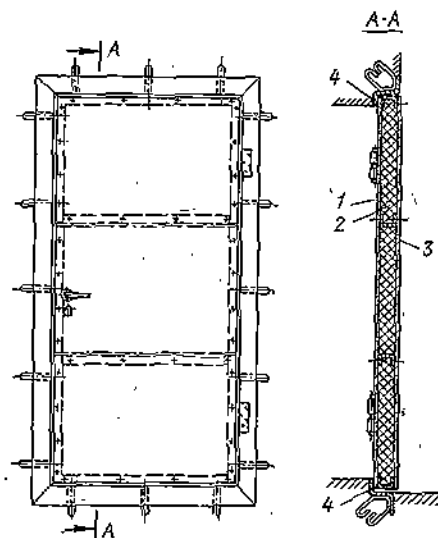


Рис. 3.15. Облегченные звукоизолирующие двери

1 — лист из дюралюминия толщиной 2 мм; 2 — плиты минераловатные полужесткие толщиной 80 мм; 3 — лист из дюралюминия толщиной 3 мм; 4 — прокладки из мягкой резины

алюминиевых сплавов. Каркас дверей изготавливают из прокатных профилей. Схема одинарной двери такого типа показана на рис. 3.15.

Внутреннюю полость полотна дверей заполняют минераловатными плитами средней плотностью 100—150 кг/м³. Воздушный зазор между двумя полотнами не менее 200 мм.

Для таких помещений могут применяться одинарные, но тяжелые двери и ворота, схема которых дана на рис. 3.16. Материалом для конструкции полотен в этих дверях является сталь толщиной 2 и 5 мм. Полотно также заполняют минераловатными плитами средней плотностью 100—150 кг/м³.

В проеме стены, предназначенной для дверей или ворот, устанавливают раму из угловой стали с выпуском для прочного соединения со стеной. После навески полотна внутреннюю поверхность закладной рамы оклеивают мягкой резиной, что дает хорошее уплотнение.

3.4.6. Для стен II категория звукоизоляции и более высокой применяют тяжелые и сложные, в основном двойные, конструкции дверей и ворот (рис. 3.17). Двери могут быть одинарными, если, например, объединяют шумное помещение и транспортный коридор.

типа, должны иметь ось вращения, отнесенную не менее чем на 50 мм от кромки полотна. Это облегчает равномерное прижатие полотна к прокладкам по всему периметру.

Если ворота имеют размер более чем 3×3 м, открывать, закрывать и прижимать их вручную трудно из-за большого веса. В этом случае применяют гидравлические системы открывания, закрывания и стопорения; в аварийных случаях система эта позволяет открывать ворота вручную.

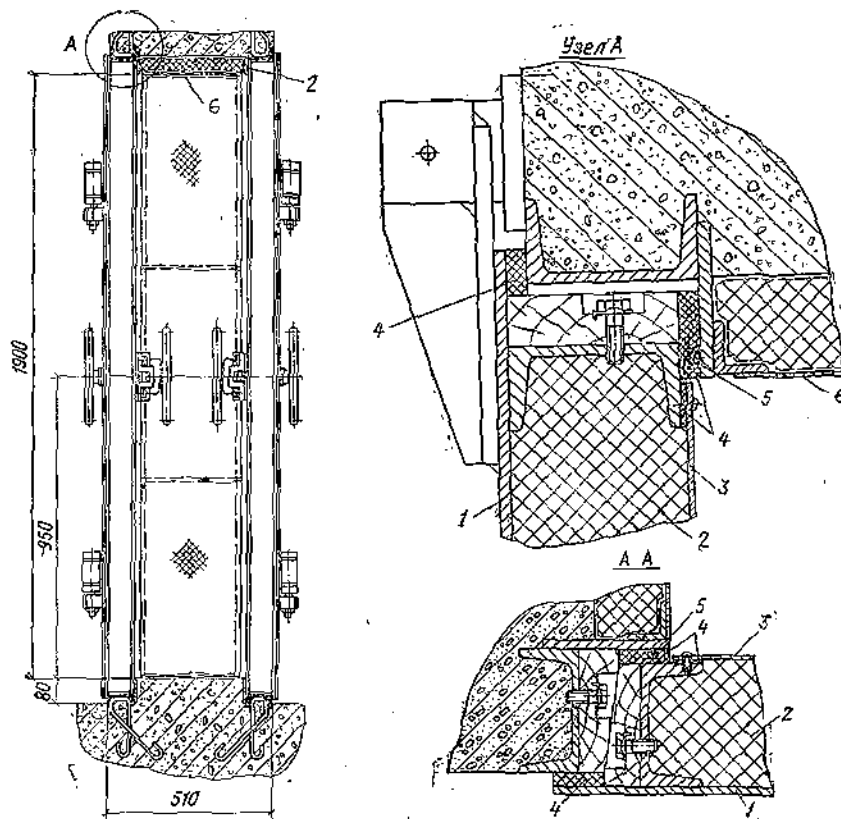


Рис. 3.16. Тяжелые звукоизолирующие двери.

1 — лист из стали Ст. 3 толщиной 5 мм; 2 — плиты минераловатные полужесткие толщиной 80 мм; 3 — лист из стали Ст. 3 толщиной 2 мм; 4 — прокладки из мягкой резины; 5 — металлический прут; 6 — перфорированный лист

Для дверей с повышенной звукоизоляцией каркас выполняют из прокатных профилей, наружную обшивку — из стального листа толщиной 4—5 мм. Чтобы увеличить звукоизоляцию и снизить вибрацию листа, его внутреннюю поверхность покрывают вибродемпфирующей мастикой или оклеивают асбестовыми листами толщиной 10 мм. Другую сторону полотна покрывают стальным перфорированным листом, внутреннюю полость заполняют минераловатными плитами или стекловолокном в оболочке из стеклоткани. Толщина звукопоглощающего слоя должна быть 80—100 мм. Между двойными дверьми образуется объем с относительно большой поверхностью звукопоглощения. Шум, проникший через створку, частично поглощается в этом объеме.

Конструкция запоров таких дверей должна обеспечивать надежное прижатие полотна двери к прокладкам. Петли, на которых подвешены двери или ворота такого

3.4.7. Для стен помещений, где требуется III и IV категория звукоизоляции, применяют такие же двери и ворота, как и для II категории, но всегда двойные. При изготовлении и монтаже ворот для помещений III и IV категории звукоизоляции предъявляются более высокие требования к точности и качеству материалов.

В отдельных случаях для таких сооружений, где камеры повышенной звукоизоляции, повышенного уровня шума и др., вместо ворот делают подвижной частью стены.

В других случаях задачу повышения звукоизоляции решают применением тамбура с акустической лицевой по периметру и двух двойных дверей.

Если необходимы ворота повышенной звукоизоляции для проемов, размеры которых превышают 40 м^2 и имеют линейные размеры 6×6 м и более, уплотняют зазоры надувными резиновыми шлангами.

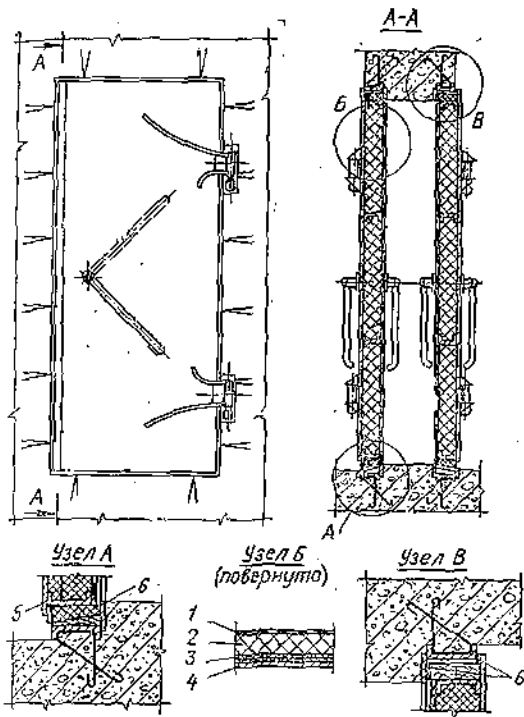


Рис. 3.17. Тяжелые звукоизолирующие двери

1 — перфорированный лист из стали Ст. 3 толщиной 1,2 мм; 2 — мипераловатные плиты толщиной 80 мм; 3 — асбестовый лист толщиной 10 мм; 4 и 5 — лист из стали Ст. 3 толщиной 3 мм; 6 — прокладки из мягкой резины

3.5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОКОН

3.5.1. Частотные характеристики звукоизолирующей способности (в октавных полосах) окон различной конструкции, применяемых в гражданских и промышленных зданиях, приведены в табл. 3.11.

Обычные окна с двойными переплетами обладают более высокой (на 4—5 дБ) звукоизолирующей способностью по сравнению с окнами со спаренными переплетами, что объясняется небольшой толщиной воздушного промежутка между стеклами, а также тем, что в этих окнах лишь один притвор спаренного переплета вместо двух притворов в двойных окнах обычного типа.

Звукоизоляция окна возрастает с увеличением толщины воздушного промежутка между переплетами (особенно на низких и средних частотах).

3.5.2. Звукоизолирующая способность окон так же, как и дверей, зависит главным образом от поверхностной плотности стекла и прижатия притворов. Если переплеты плотно примыкают друг к другу и к коробке, звукоизоляция окна определяется почти исключительно поверхностной плотностью стекла. Поэтому разрыв окон на большие или малые секции практически не имеет значения.

3.5.3. Применение упругих прокладок значительно улучшает звукоизоляционные качества окон. Наилучшими являются профилированные резиновые прокладки и прокладки из пористой резины.

Чтобы плотность притворов увеличилась, переплеты открывающихся окон снабжают натяжными шпильками.

Применять в конструкции окон наплывы нецелесообразно с точки зрения звукоизоляции, так как они час-

то, не повышая герметичности окна, только закрывают существующие дефекты (зазоры) в местах примыкания переплетов к коробке.

3.5.4. Для повышения звукоизолирующей способности окон любого типа необходимо применять хорошо высушенную древесину (с влажностью не более 10—

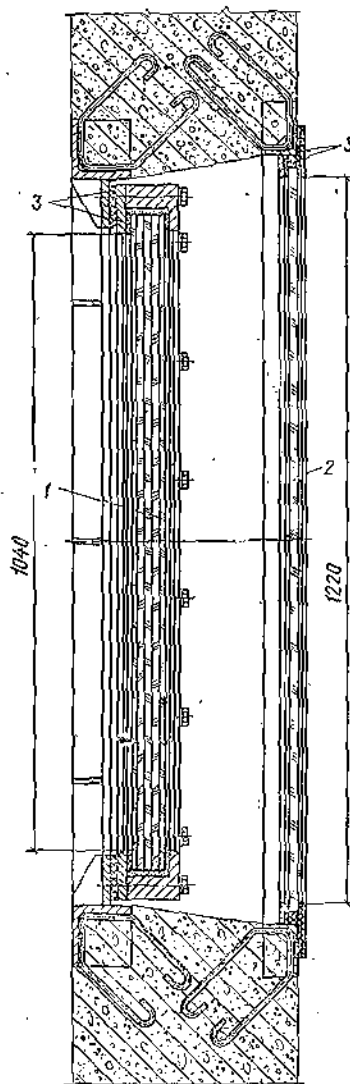
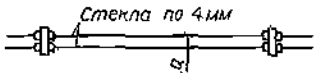




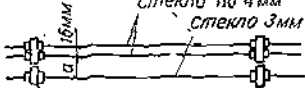
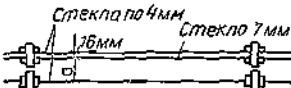
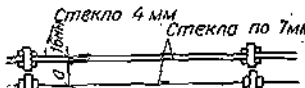

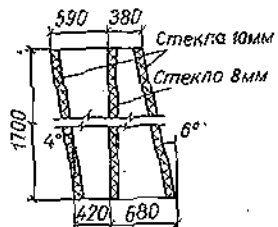
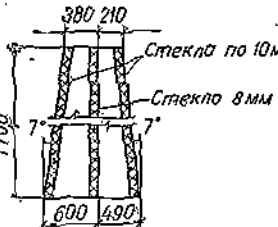
Рис. 3.18. Окно специальной конструкции с повышенной звукоизоляцией

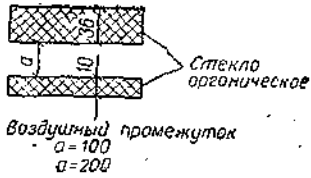
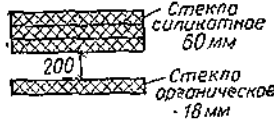
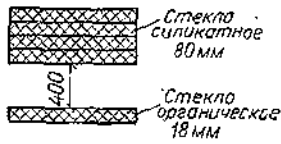
1 — стекло силикатное толщиной 60 мм; 2 — стекло органическое толщиной 18 мм; 3 — резиновые прокладки

12%), плотно пригонять все части переплетов между собой и к коробке, увеличить жесткость переплетов, плотно и тщательно промазать фальцы замазкой или уплотнить стекла резиновыми, кожаными и тому подобными прокладками. Замазку следует накладывать по фальцу переплетов в виде ленты, благодаря чему стекло, втолненное в замазку, будет заделано более плотно, чем при обычном способе промазки стекол только с одной стороны. Такое уплотнение стекол важно не только

Звукоизолирующая способность окон и остекленных проемов, дБ

№ п. п.	Элемент конструкции	Условия прилегания по периметру	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Окно с силикатным стеклом толщиной: 3 мм 6 "	Без уплотняющих прокладок	(8) (12)	12 18	16 18	18 20	20 23	22 25	20 25	— —
2	Оконный блок с двойным переплетом, толщина стекла 3 мм, воздушного зазора 170 мм	То же	(22)	27	26	28	30	28	27	—
		С уплотняющими прокладками из пористой резины	(27)	33	33	36	36	38	38	—
3	Двойное остекление со стеклами толщиной 4 и 7 мм и воздушным зазором: 200 мм 300 "	То же	— —	27 32	36 39	41 43	47 47	49 51	56 55	— —
4	Стеклоблоки типа БК-98 (толщина 98 мм)	—	—	37	40	42	45	48	50	—
5	Окно (размером 1×1,2 м) с органическим стеклом толщиной: 4 мм 10 " 18 " 36 "	С герметизацией притворов	(13) (18) (22) (30)	17 23 30 35	21 26 32 34	25 31 36 35	29 34 35 40	33 34 33 40	36 32 35 48	30 40 (45) —
6	Стекло силикатное 4 мм То же, 7 мм	То же "	— —	19 22	24 28	28 29	30 34	33 28	31 39	— —
7	Витраж с открывающимися створками: стекло силикатное 7 мм	"	—	22	27	29	31	25	36	—
8	Стеклопакеты из силикатного стекла:  Воздушный промежуток: a=16 мм a=30 " a=100 " a=200 " a=400 "	С герметизацией притворов	— — — — —	16 15 21 28 34	26 26 33 36 40	28 30 39 41 44	37 36 47 48 50	41 40 50 54 52	41 40 51 58 54	— — — — —
9	 Воздушный промежуток: a=16 мм a=100 " a=200 " a=300 " a=400 "	То же	— — — — —	18 28 30 34 38	29 35 37 40 41	32 39 43 45 45	42 47 48 48 49	40 46 49 52 50	47 52 58 58 55	— — — — —
10		"	—	38	42	46	51	53	57	—

М.п.п.	Элемент конструкции	Условия прилегания по периметру	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
11	 <p>Стекло по 4 мм Стекло 3 мм</p> <p>Воздушный промежуток $a=200$ мм, $a=650$ мм</p>	С герметизацией притворов	—	25 34	36 39	41 44	50 51	53 54	55 58	—
12	 <p>Стекло по 4 мм Стекло 7 мм</p> <p>Воздушный промежуток, $a=200$ мм</p>	То же	—	30	39	42	49	52	59	—
13	 <p>Стекло 4 мм Стекло по 7 мм</p> <p>Воздушный промежуток, $a=200$ мм</p>	С герметизацией притворов	—	33	41	43	52	54	60	—
14	 <p>Стекло по 7 мм</p> <p>Воздушный промежуток $a=200$ мм, $a=650$ мм</p>	То же	—	32 37	41 45	43 46	61 52	62 54	58 57	—
15	<p>Просмотровые окна в телестудиях (из склепанного стекла)</p>  <p>Стекло 10 мм Стекло 8 мм</p>	1	—	49	63	71	66	73	77	—
16	 <p>Стекло по 10 мм Стекло 8 мм</p>		—	46	67	72	76	69	71	—

№ п.п.	Элемент конструкции	Условия прилегания по периметру	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
17	 <p>Герметизация по периметру</p> <p>Стекло органическое</p> <p>Воздушный промежуток a=100 a=200</p>		22 22	31 32	41 43	50 53	60 61	62 64	70 (70)	(70) (70)
18	 <p>Стекло силикатное 60 мм</p> <p>200</p> <p>Стекло органическое 18 мм</p>	То же	32	40	47	55	63	70	(70)	(70)
19	 <p>Стекло силикатное 80 мм</p> <p>400</p> <p>Стекло органическое 18 мм</p>		36	46	52	59	69	(75)	(75)	(75)

с точки зрения повышения герметичности окна, но еще и потому, что стекла излучают звук в результате резонансных колебаний (в основном при низких и средних частотах звука), а замазка демпфирует колебания.

Чтобы улучшить звукоизолирующую способность открывающихся окон, устраивают наружные и внутренние форточки в разных секциях окна. В результате этого уровень проникающего с улицы в комнату шума значительно ниже, чем при обычных форточках.

3.5.5. В случаях когда необходима повышенная звукоизоляция, которая не может быть обеспечена обычным двойным окном с уплотняющими прокладками, применяют окна специальной конструкции.

Наиболее удобно заполнение проема органическим стеклом толщиной 20—40 мм. Окно выполняется двойным с воздушным зазором между стеклами не менее 100 мм. По плоскости стекло может быть склеено специальным клеем, не ухудшающим его прозрачность. Соединение стекол по торцам для окон повышенной звукоизоляции не допускается.

Размер окна необходимо выбирать исходя из размеров листа. Стекло должно быть плотно заделано в металлическое обрамление окна через прокладки из резины средней твердости. Звукоизолирующая способность окон из органического стекла различной толщины дана в табл. 3.11 (п. 17). Окна из органического стекла пригодны для стен, звукоизоляция которых должна быть не выше I категории.

Для помещений, стены которых должны иметь II категорию звукоизоляции и выше, применяют специальные окна (рис. 3.18). Их размер определяется технологическими возможностями заводов, изготавливающих блоки из силикатного стекла. Окно имеет две закладные рамы, устанавливаемые в проеме стены. К рамам

болтами крепят два стекла в специальном металлическом обрамлении. Одно стекло — органическое, толщиной 15—20 мм — служит защитным для силикатного стеклоблока. Одновременно оно улучшает звукоизоляцию.

Стеклоблок, склеенный из 6—8 слоев 10-мм стекла, имеет стальное металлическое обрамление. Зазор между стеклами и обрамлением заполняют цементным раствором.

Размер светового проема окна такой конструкции бывает обычно 640 × 1040 мм.

Звукоизолирующая способность окон повышенной звукоизоляции приведена в табл. 3.11 (см. пп. 18, 19).

Примеры (3—5) акустических расчетов ограждающих конструкций с применением дверей и окон даны в конце главы.

3.6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ МЕСТ ПРОХОДА КОММУНИКАЦИИ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДЕНИЯ

3.6.1. Между очень шумными и малошумными помещениями промышленных зданий и сооружений проходит много технологических коммуникаций (вентиляционные короба, трубы отопления, водопровода, топки, масла, трубы различных измерительных систем, пилы и электропровода, тяги весоизмерительных и других устройств). Для них в стенах и перекрытиях делают соответствующие отверстия и проемы. Если отверстия и проемы не будут надежно звукоизолированы, шум из одного помещения будет распространяться в другое.

3.6.2. На рис. 3.19 дана схема звукоизоляции мест прохода санитарно-технических коммуникаций, через

перекрытия гражданских зданий. Следует подчеркнуть, что при пропуске труб через стены и перекрытия необходимо предусматривать гильзы, а пространство между трубой и гильзой заполнять упругим материалом (минеральная вата, стекловолокно и т. п.).

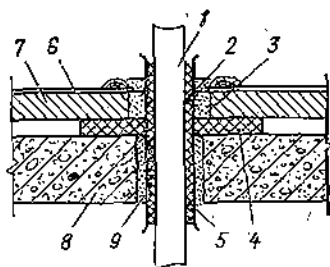


Рис. 3.19. Схема пропуска санитарно-технического стояка через перекрытие

1 — стояк; 2 — гильза; 3 — изоляционный материал; 4 — пол; 5 — заделка раствора; 6 — плита пола; 7 — несущая плита; 8 — заделка раствора

3.6.3. На рис. 3.20 показана схема звукоизоляции мест прохода коммуникаций через стену или перекрытие в промышленных зданиях. В ограждении делается проем, размер которого в полтора — два раза больше, чем труба или шина. Проем обрамляют угловой сталью. По обеим сторонам на винтах или шпильках к нему присоединяют разрезные фланцы. Образовавшуюся полость заполняют звукопоглощающим или вязкоупругим материалом. Если это звукоизоляция токопроводящих шин, то прокладки и заделки должны быть электроизолирующими (например, кабельная масса). Такое

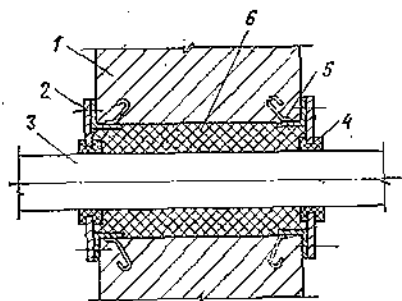


Рис. 3.20. Звукоизоляция прохода технологических коммуникаций через ограждения

1 — стена или перекрытие; 2 — разрезной фланец; 3 — элемент коммуникации; 4 — эластичная или электроизолирующая прокладка; 5 — обрамление проема; 6 — минеральная вата или пакля, пропитанная слабым раствором

соединение обеспечивает надежную звукоизоляцию и хорошо компенсирует осевые передвижения труб при колебаниях температуры.

3.6.4. На рис. 3.21 показано звукоизолирующее устройство для проводов или тонких манометрических трубок. Оно позволяет прокладывать новые провода или трубки, не прибегая к разборке конструкции. В проеме стены или перекрытия жестко устанавливают металлический короб. Внутри него есть слой звукопо-

глощающего материала, покрытого перфорированным листом. Между листами образуется щель, ширина которой зависит от количества проходящих коммуникаций (600—1000 мм). В эту щель пропускают провода или трубка. Две крышки (по одной с каждой стороны) уста-

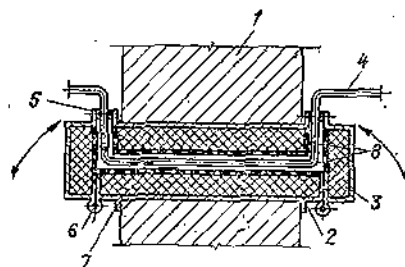


Рис. 3.21. Разборное устройство для проводов или манометрических трубок

1 — ограждение; 2 — короб; 3 — откидные крышки; 4 — изолируемый трубопровод; 5 — резиновая прокладка; 6 — шарнир; 7 — звукопоглощающий материал; 8 — перфорированный лист

новлены на петлях и могут откидываться на время монтажа. После пропуска коммуникаций крышки поднимают и привертывают барашками к откидным болтам. Крышки изготовляют из листа толщиной 6—8 мм и заполняют внутри звукопоглотителем, прикрытым перфорированным листом. Между стеной и крышкой помещают прокладки из губчатой резины. Толщина слоя звукопоглощающего материала в коробе и крышках должна быть не менее 100 мм.

3.6.5. Для звукоизоляции тяг весоизмерительных систем необходимо избежать какого-либо контакта их с другими конструкциями. Конструкция такого устройства представляет собой небольшой глушитель типа вен-

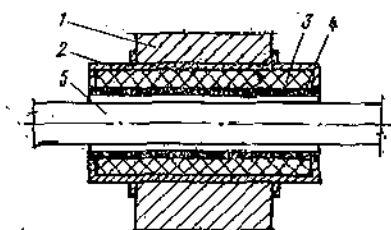


Рис. 3.22. Звукоизоляция тяга весоизмерительного устройства

1 — ограждение; 2 — короб; 3 — звукопоглотитель; 4 — перфорированная оболочка; 5 — изолируемая тяга или вал

тиляционного (рис. 3.22), жестко заделанный в ограждение. Внутренняя перфорированная оболочка образует канал, диаметр которого на 5—6 мм больше диаметра изолируемой тяги. Величина заглушения регулируется длиной устройства и толщиной слоя звукопоглотителя. Толщину слоя меньше 100 мм делать не рекомендуется. При длине 500—600 мм и зазоре 2—2,5 мм такое устройство может обеспечить достаточно высокое снижение уровня шума. Толщина боковых фланцев до-

лжна быть не менее 6—8 мм. Такая же конструкция применяется для вращающихся деталей.

Чтобы уменьшить число мест прохода коммуникаций через стены и перекрытия, рекомендуется объеди-

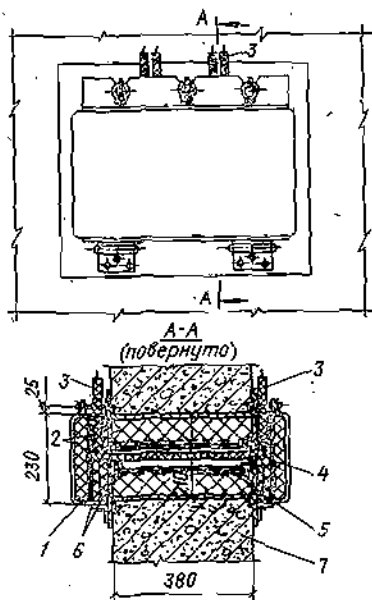


Рис. 3.23. Звукоизолирующий коллектор для прохода электропроводов через стену или перекрытие
1 — накладка из стали Ст. 3 толщиной 2 мм; 2 — звукопоглощающий материал; 3 — электрокабели; 4 — перфорированный лист; 5 — сетка стеклыватная; 6 — пороловая или губчатая резина; 7 — ограждение

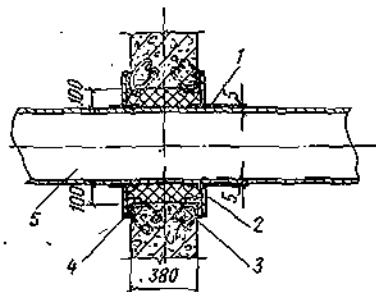


Рис. 3.24. Герметизированный проход вентиляционных труб через кирпичную стену

1 — уплотнение из мягкой резины; 2 — металлический лист толщиной 4 мм; 3 — звукопоглощающий материал с уплотнением (войлок из минеральной ваты или плиты минераловатные); 4 — металлическая рамка по периметру проема (63×5); 5 — вентиляционная труба

ять кабели и трубопроводы в пакеты и коллекторы с заделкой их одновременно с возведением стен и перекрытий. Присоединение трубопроводов к коллекторам во избежание передачи вибраций на строительные конструкции должно производиться через гибкие вставки, компенсаторы или виброизолирующие прокладки во фланцах.

3.6.6. В особо ответственных конструкциях прокладка труб и кабелей через стены осуществляется при помощи патрубков, облицованных звукопоглощающим материалом, а места входа и выхода закрываются специальными звукоизолирующими накладками (рис. 3.23). Схема герметизированного прохода вентиляционной трубы через стену показана на рис. 3.24.

3.7. ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ИЗОЛЯЦИИ ОДНОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ОТ ВОЗДУШНОГО ШУМА

3.7.1. Расчет изоляции плоского однослойного ограждения от воздушного шума состоит в построении частотной характеристики звукоизолирующей способности этого ограждения.

Примечание. К акустически однослойным конструкциям, кроме сплошных, состоящих из одного материала, относятся также конструкции из нескольких разнородных слоев, жестко связанных между собой (например, оштукатуренная кирпичная стена).

3.7.2. Приблизленно частотные характеристики звукоизолирующей способности однослойных ограждений из строительных материалов (бетона, железобетона, гипсобетона, шлакопемзобетона и др.) можно рассчитывать, пользуясь полуэмпирическим графиком (рис. 3.25).

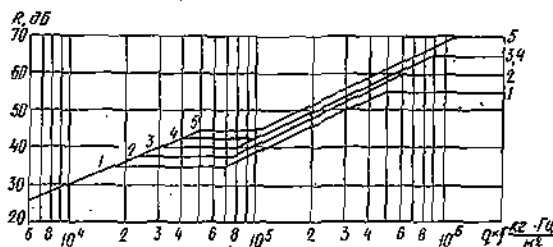


Рис. 3.25. График для определения звукоизолирующей способности ограждений из строительных материалов в зависимости от поверхностной плотности q , кг/м^2

1 — $q = 90 \div 150 \text{ кг/м}^2$; 2 — $q = 160 \div 200 \text{ кг/м}^2$; 3 — $q = 220 \div 400 \text{ кг/м}^2$; 4 — $q = 500 \div 600 \text{ кг/м}^2$; 5 — q от 800 кг/м^2 и выше

На этом графике представлена зависимость звукоизолирующей способности ограждающих конструкций от произведения средней поверхностной плотности, кг/м^2 , на частоту звука, Гц , qf .

3.7.3. Расчет и построение частотной характеристики звукоизолирующей способности производятся в следующем порядке:

а) определяется средняя поверхностная плотность ограждения q , кг/м^2 ;

б) на бланке графика, по оси абсцисс которого в логарифмическом масштабе отложены частоты f , Гц , а по оси ординат — величины звукоизолирующей способности ограждения R , дБ — строится частотная характеристика звукоизолирующей способности R ограждения, состоящая из четырех прямолинейных участков AB , BC , CD и DE (рис. 3.26). Для этого по данным графика рис. 3.25 (или по табл. 3.12) в зависимости от средней поверхностной плотности ограждения q находят значения частот f_B , f_C , f_D , по которым определяют положения точек B , C и D и соответствующие этим частотам значения R_B , R_C и R_D . Через точки B и C проводят горизонтальный отрезок BC . Из точки B вде-

Таблица 3.12

Координаты точек *B*, *C* и *D* для построения частотной характеристики звукоизолирующей способности однослойного ограждения

Средняя поверхностная плотность q , кг/м ²	Кривая на рис. 3.25	Частота, Гц			Звукоизолирующая способность, дБ		
		f_B	f_C	f_D	R_B	R_C	R_D
От 90 до 150	1	17 000	70 000	500 000	35	35	55
		q	q	q			
» 160 » 200	2	24 000	75 000	600 000	38	38	60
		q	q	q			
» 220 » 400	3	30 000	80 000	900 000	40	40	60
		q	q	q			
» 500 » 600	4	40 000	100 000	900 000	42	42	65
		q	q	q			
» 800 и выше	5	52 000	100 000	1 200 000	45	45	70
		q	q	q			

Примечание. Для значений q , не указанных в таблице, величину q следует определять интерполяцией, а значения частот брать по ближайшему значению поверхностной плотности q .

вниз проводят прямую *AB* с наклоном 6 дБ на октаву. Точки *C* и *D* соединяют прямой линией, имеющей подъем 7,5 дБ на октаву. От точки *D* вправо проводят горизонтальную прямую до точки *E*, соответствующей частоте $f = 8000$ Гц;

в) по полученной кривой определяют значения звукоизолирующей способности R для частот, совпадающих со средними частотами октавных полос (см. п. 1.2),

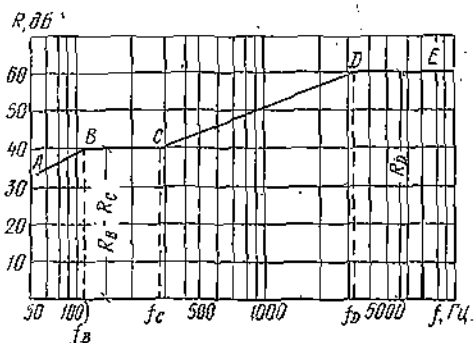


Рис. 3.26. График построения частотной характеристики звукоизолирующей способности однослойного ограждения

значения R переносят на бланк, по оси абсцисс которого отложены средние значения октавных полос (см. рис. 3.27).

3.7.4. Звукоизолирующую способность тонкостенных ограждений из металла, фанеры и других материалов, применяемых для перегородок в шумных цехах, для изготовления звукоизолированных кабин и кожухов, экранов и т. п., рассчитывают в следующем порядке:

а) для заданных материала и толщины пластины рассчитывают критическую частоту

$$f_{кр} = \frac{6,4 \cdot 10^4}{h c_{сп}} \text{ Гц}, \quad (3.9)$$

где h — толщина ограждения (в расчет берется толщина основного листа без ребер жесткости), м;
 $c_{сп}$ — скорость продольной звуковой волны в пластине, м/с (принимается по табл. 3.13);

Таблица 3.13
Таблица для построения расчетной кривой звукоизолирующей способности

Материал конструкции	Плотность ρ , кг/м ³	Скорость продольной волны $c_{сп}$, м/с	Звукоизолирующая способность R , дБ				
			0,25 Гц	0,5 Гц	0,63 Гц	1 Гц	2 Гц
Сталь	7800	$5,2 \cdot 10^3$	35	37	—	30	39
Алюминиево-магнелиевые сплавы	2800	$5,1 \cdot 10^3$	28	31	—	22	30
Стеклопластик	1700	$3,5 \cdot 10^3$	28	31	—	28	33
Фанера	800	$2,1 \cdot 10^3$	26	28	—	25	30
Органическое стекло	1190	$1,9 \cdot 10^3$	33	36	36	30	38
Силикатное стекло	2500	$4 \cdot 10^3$	—	35	—	29	37

Примечания: 1. Данные для органического стекла используются при построении характеристик звукоизолирующей способности образцов ограниченного размера (порядка 1х1,2 м) при жестком закреплении по контуру.

2. Для расчета частотной характеристики звукоизолирующей способности образцов органического стекла большого размера и крепления их по контуру через мягкие резиновые прокладки используются значения координат для 0,5 Гц, 0,63 Гц и 1 Гц из табл. 3.13, а на частотах ниже 0,5 Гц проводится кривая со спадом 6 дБ на 1 октаву, выше 1 Гц — с подъемом 10 дБ на 1 октаву.

3. Для силикатного стекла частотная характеристика звукоизолирующей способности на частотах ниже 0,5 Гц строится со спадом 5 дБ на 1 октаву, на частотах выше 2 Гц — с подъемом 6 дБ на 1 октаву.

б) на бланке графика, по оси абсцисс которого нанесены частоты в логарифмическом масштабе, а по оси ординат — звукоизолирующая способность в дБ, в пределах расчетного диапазона частот откладывают значения частот: 0,25 Гц, 0,5 Гц, 0,63 Гц, 1 Гц и 2 Гц

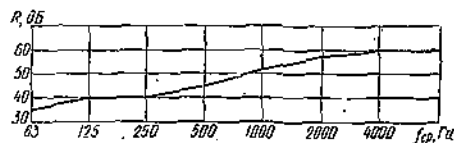


Рис. 3.27. Характеристика звукоизолирующей способности однослойного ограждения в октавных полосах частот

(см. рис. 3.28). Для полученных частот по данным табл. 3.13 определяются соответствующие им значения звукоизолирующей способности R , дБ, которые переносятся на бланк графика (рис. 3.28);

в) полученные значения ординат соединяют прямыми линиями. На частотах ниже 0,25 Гц проводят прямую со спадом 4 дБ на 1 октаву, на частотах выше 2 Гц с подъемом 8 дБ на 1 октаву. По этой кривой определяют значения R для среднегеометрических частот октавных полос и строят частотную характеристику R в октавных полосах.

3.7.5. Область применения этой методики расчета звукоизолирующей способности ограждений ограничивается следующими условиями.

1. Минимальный размер однослойной преграды должен быть во много раз больше длины волны на критической частоте $\lambda_{кр}$ или практически:

$$l_{мин} \geq 8\lambda_{кр}; \quad (3.10)$$

$$\lambda_{кр} = \sqrt{\frac{1,8c_{пр}h}{f_{кр}}} \text{ м}, \quad (3.11)$$

где $c_{пр}$ — скорость продольной звуковой волны в пластине, м/с; определяется по табл. 3.13; h — толщина преграды, м; $f_{кр}$ — критическая частота, определяется по формуле (3.9).

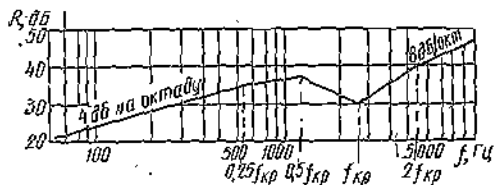


Рис. 3.28. График построения частотной характеристики звукоизолирующей способности тонкостенной панели (из металла, стекла, фанеры и др.).

2. Нижняя граница расчетного диапазона частот определяется из условий:

$$f_n = \frac{340}{l_{мин}} Гц \quad (3.12)$$

$$f_n = \frac{4c_{пр}h}{l_{мин}} Гц. \quad (3.13)$$

Из двух значений частоты, рассчитанных по формулам (3.12) и (3.13), принимается наибольшее.

3. Навысшая частота, для которой справедлива предлагаемая методика расчета, зависит от толщины преграды и определяется из условия

$$f_v \approx 0,05 \frac{c_{пр}}{h} Гц. \quad (3.14)$$

Примеры (6 и 7) расчетов звукоизолирующей способности ограждающих конструкций приведены в конце главы.

3.8. ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ОТ ВОЗДУШНОГО ШУМА ОГРАЖДЕНИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

3.8.1. При ориентировочных расчетах показатель изоляции от воздушного шума однослойных ограждений $E_{в.о}$ можно определить по графику рис. 3.29 в зависимости от средней поверхностной плотности ограждения, $кг/м^2$.

3.8.2. Показатель изоляции от воздушного шума двухслойного ограждения ориентировочно определяется по формуле

$$E_v = E_{в.о} + \Delta E_v \text{ дБ}, \quad (3.15)$$

где $E_{в.о}$ — показатель изоляции от воздушного шума несущей плиты перекрытия или стены (одной панели

в случае двойных перегородок), ΔE_v , определяемый по графику рис. 3.29; ΔE_v — повышение показателя изоляции от воздушного шума ограждения при установке дополнительной (второй) изолирующей конструкции, ΔE_v .

3.8.3. Показатель изоляции от воздушного шума перекрытий с полами на упругом основании (см. рис. 3.8—3.11) рассчитывают в следующем порядке:

а) устанавливают толщины несущей плиты перекрытия h_1 и поперечной стены или перегородки (одной панели в случае двойных перегородок) h_2 ;

б) по данным табл. 3.14 определяют скорости продольных волн в несущей плите перекрытия c_1 и в поперечной стене или перегородке c_2 ;

Таблица 3.14

Скорость продольных волн $c_{пр}$ в строительных материалах

Материал	$c_{пр}$, м/с
Бетон, железобетон	3700
Гипсобетон, шлакобетон	4000
Шлакопемзобетон	3500
Кирпич (кладка)	2300

в) определяют среднюю поверхностную плотность несущей плиты перекрытия q_1 и поперечной стены или перегородки (одной панели в случае двойных перегородок) q_2 ;

г) по величине q_1 из графика рис. 3.29 находят $E_{в.о}$;

д) вычисляют параметры:

$$m = \frac{q_1}{q_2}; \quad (3.16)$$

$$\alpha = m \sqrt{\left(\frac{c_1 h_1}{c_2 h_2}\right)^3}; \quad (3.17)$$

е) по графику (рис. 3.30) определяют величину ΔE_v ;

ж) по формуле (3.15) находят величину показателя изоляции от воздушного шума междуэтажного перекрытия с полом на упругом основании.

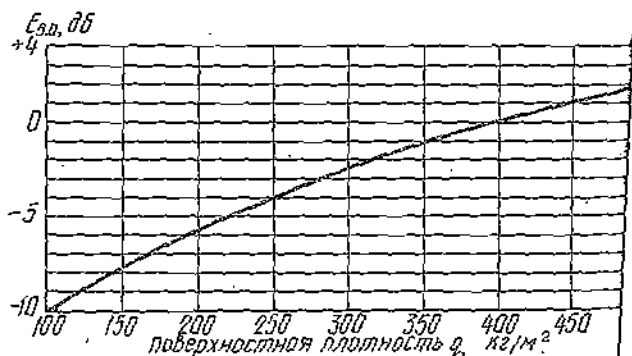


Рис. 3.29. Зависимость показателей изоляции от воздушного шума однослойного ограждения из бетона, железобетона, шлакопемзобетона, шлакобетона, гипсобетона, кирпича от поверхностной плотности $1 м^2$ ограждения в кг

3.8.4. Показатель изоляции от воздушного шума стен с гибкими плитами на основе с двух сторон рассчитывают аналогично; лишь для определения величины ΔE_v следует пользоваться графиком рис. 3.31.

Таблица 3.15

Повышение показателя $\Delta E_{\text{д}}$ изоляции однослойной перегородки при установке второй панели

m	Пол на упругом основании	$\Delta E_{\text{д}}, \text{дБ}$
2—2,5	Есть	7
3	Нет	6
	Есть	8
	Нет	7

3.8.5. Показатель изоляции двойных перегородок от воздушного шума рассчитывают следующим образом. По средней поверхностной плотности одной пане-

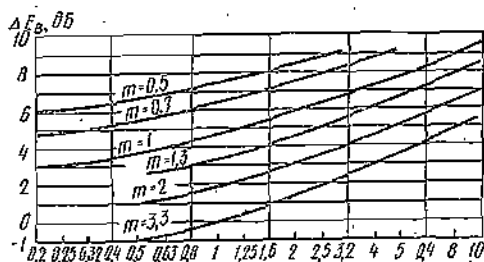


Рис. 3.30. Повышение показателя изоляции от воздушного шума перекрытия при устройстве пола на упругом основании

ли двойной перегородки q_2 определяют посредством графика (рис. 3.29) $E_{\text{д.о.}}$. Из табл. 3.15 в зависимости от значения $m = q_1/q_2$ находят величину $\Delta E_{\text{д}}$, а пока-

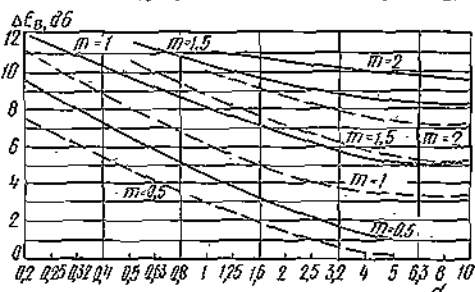


Рис. 3.31. Повышение показателя изоляции от воздушного шума перегородки при устройстве гибких плит на основе с обеих сторон перегородки

— — — — — перекрытие с полом на упругом основании;
 — — — — — перекрытие без пола на упругом основании

сель изоляции от воздушного шума вычисляют по формуле (3.15).

Примеры (8—10) расчета показателей изоляции приведены в конце главы.

3.9. ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ИЗОЛЯЦИИ ОТ УДАРНОГО ШУМА МЕЖДУЭТАЖНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ В ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЯХ

3.9.1. В тех случаях когда по табл. 3.4 не удается подобрать перекрытие с необходимым показателем изоляции от ударного шума, его следует проектировать в основании расчета.

3.9.2. Приведенный уровень ударного звука L под междуэтажным перекрытием с полом на упругом основании или рулонным полом (см. п. 3.3) определяется по формуле

$$L = L_0 - \Delta L \text{ дБ}, \quad (3.18)$$

где L_0 — приведенный уровень ударного шума под несущей частью перекрытия без пола, дБ; ΔL — снижение приведенного уровня ударного шума под перекрытием (или улучшение изоляции) при устройстве пола на упругом основании или рулонного пола, дБ.

3.9.3. Расчет изоляции от ударного шума междуэтажных перекрытий состоит из построения частотной характеристики снижения приведенного уровня ударного шума ΔL при устройстве пола и вычисления показателя изоляции $E_{\text{у}}$ перекрытия с полом.

3.9.4. Показатель изоляции $E_{\text{у}}$ может быть определен по методике, изложенной в п. 3.2, а в случаях, когда неизвестен приведенный уровень ударного шума, сравнением расчетных значений ΔL с соответствующими значениями $\Delta L_{\text{тр}}$, заранее вычисленными для различных видов несущих частей перекрытий.

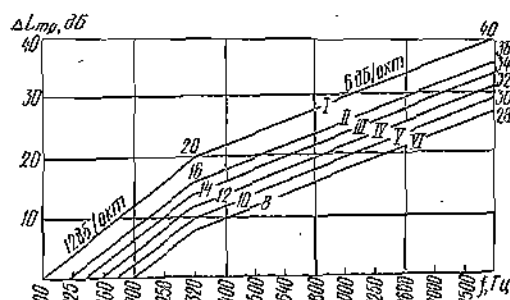


Рис. 3.32. Кривые требуемого снижения приведенного уровня ударного звука под перекрытием

3.9.5. Частотные характеристики требуемого снижения приведенного уровня ударного шума $\Delta L_{\text{тр}}$ для различных несущих конструкций перекрытий приведены на рис. 3.32.

Номер требуемой кривой на рис. 3.32 в зависимости от конструкции несущей части перекрытия (без полов) выбирается по табл. 3.16.

Таблица 3.16

Классификация несущих частей перекрытий

Конструкция	Средняя поверхностная плотность несущей части, кг/м^2	Номер требуемой кривой на рис. 3.32
Сплошная или многослойная плита	150	I
	200	II
	250	III
	300	IV
	375	V
Перекрытие с гибким подвесным потолком	150	II
	200	IV
	250	V
	300	VI
	375	VII

Примечания: 1. При определении номера требуемой кривой значение фактической поверхностной плотности несущей части перекрытия округляется до ближайшей величины, указанной в таблице.

2. К расчетным схемам не относятся конструкции полов по засыпкам.

3.9.6. Частотные характеристики рассчитанного снижения приведенного уровня ударного шума ΔL при устройстве полов на упругом основании или рулонных полов должны сравниваться с кривыми требуемого снижения приведенного уровня ударного шума $\Delta L_{тр}$ на рис. 3.32. Показатель изоляции от ударного шума E_y междуэтажных перекрытий определяется вычислением неблагоприятных отклонений кривой час-

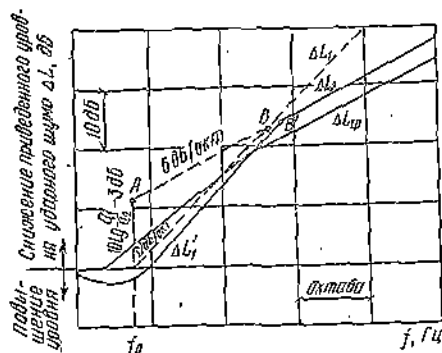


Рис. 3.33. Построение частотной характеристики снижения уровня ударного звука

отной характеристики рассчитанного снижения приведенного уровня ударного шума от соответствующей кривой требуемого снижения приведенного уровня ударного шума $\Delta L_{тр}$. Неблагоприятными отклонениями в данном случае являются отклонения, лежащие ниже соответствующей кривой $\Delta L_{тр}$. Среднее неблагоприятное отклонение и показатель изоляции от ударного шума E_y определяют так, как это изложено в п. 3.2.

3.9.7. Расчет изоляции от ударного шума междуэтажного перекрытия с полом на упругом основании производится в следующем порядке:

а) строят график, по оси абсцисс которого в логарифмическом масштабе откладывают частоты f , а по оси ординат — величины снижения приведенного уровня ударного шума ΔL (рис. 3.33);

б) определяют поверхностную плотность, $кг/м^2$, отдельных элементов перекрытия: пола на упругом основании q_1 , упругой прокладки q_2 , несущей части перекрытия q_3 .

Примечание. При полах по лентам из упругих материалов поверхностная плотность упругой прокладки q_2 принимается, как при сплошной;

в) в соответствии с типом несущей части перекрытия (п. 3.9.5) устанавливают номер кривой требуемого снижения приведенного уровня ударного шума $\Delta L_{тр}$ при устройстве пола на упругом основании (табл. 3.16);

г) определяют величину приведенного коэффициента жесткости упругого основания

$$K = \frac{E_d}{h}, \text{ Па/м}, \quad (3.19)$$

где E_d — динамический модуль упругости прокладки, Па; значения E_d при расчетной удельной статической нагрузке принимают по табл. 3.7; h — толщина упругой прокладки в сжатом состоянии, м; вычисляется по формуле

$$h = h_0 \left(1 - \frac{\sigma}{E_{ст}} \right) \text{ м}, \quad (3.20)$$

где h_0 — толщина упругой прокладки в несжатом состоянии, м; $\sigma = q_{ст}$ — фактическое нормальное напряжение в прокладке, Па, под действием нормативной нагрузки $q_{ст} = q_1 + q_2$, Па, где $q_1 = 10q_2$ — постоянная нагрузка (вес пола), а $q_2 = 10q_3$ — временная нагрузка на перекрытие (q_3 , $кг/м^2$, принимается по СНиП II-A.1-72); $E_{ст}$ — статический модуль упругости прокладки, Па, при заданной удельной статической нагрузке (табл. 3.7). Значение σ не должно превышать $\sigma_{доп}$ (табл. 3.7);

д) находят резонансную частоту колебаний пола на упругом основании

$$f_0 = 0,05 \sqrt{\frac{K}{q_1}} \text{ Гц}, \quad (3.21)$$

где q_1 — поверхностная плотность пола, $кг/м^2$; е) определяют величину снижения приведенного уровня ударного звука ΔL_1 на низких частотах для частот

$$f \leq 0,7 f_0 \sqrt{\frac{q_1}{q_2}}$$

Для этого при $2 < \lambda < 7$ из точки f_0 на оси абсцисс рис. 3.33 проводят прямую с наклоном 12 дБ на каждую октаву ($\lambda = q_3/q_1$). При $\lambda \leq 2$ или $\lambda \geq 7$ снижение

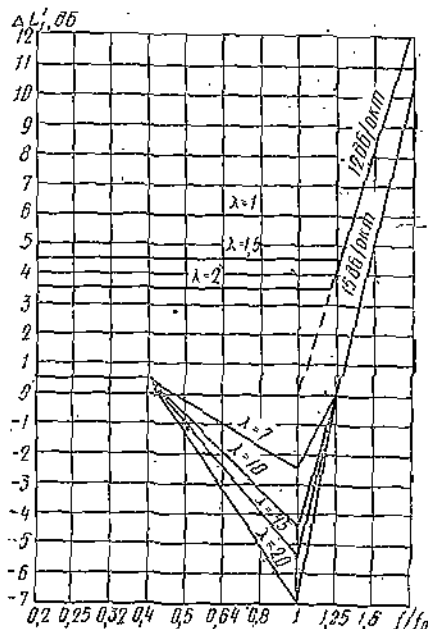


Рис. 3.34. График для определения ΔL_1

приведенного уровня ударного шума на низких частотах ΔL_1 принимают по графику 3.34 в зависимости от частоты звука f ;

ж) определяют величину снижения приведенного уровня ударного шума на средних и высоких частотах ΔL_2 , а именно для частот $f \geq 0,7 f_0 \sqrt{q_1/q_2}$. Для этого из точки f_0 на оси абсцисс рис. 3.33 откладывают ординату, равную $(10 \lg q_1/q_2 - 3)$ дБ, до точки А. Из точки А проводят прямую с наклоном 6 дБ на каждую октаву. Ордината $(10 \lg q_1/q_2 - 3)$ дБ определяется по графику рис. 3.35. Величины ΔL_2

ния приведенного уровня ударного звука на низких частотах ΔL_1 и $\Delta L'_1$ справедливы до пересечения с прямой ΔL_2 соответственно в точках В и В', а величины снижения приведенного уровня ударного звука на средних и высоких частотах ΔL_2 справедливы на участке правее точек В и В'.

Примечание. При полах по лентам из упругих материалов группы А вычисленная величина снижения приведенного уровня ударного шума на всех частотах уменьшается на 3 дБ по сравнению с приведенными выше значениями снижения уровня шума при полах по сплошному слою упругого материала;

з) на график наносят установленную по табл. 3.16 и рис. 3.32 кривую требуемого снижения приведенного уровня ударного звука $\Delta L_{\text{тр}}$;

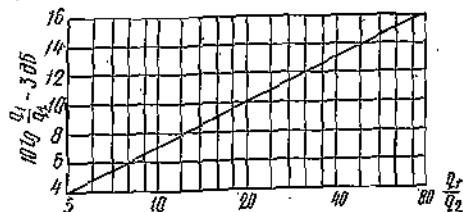


Рис. 3.35. График для определения величин $10 \lg \frac{q_1}{q_2} - 3 \text{ дБ}$

н) вычисляют показатель изоляции E_y проектируемого перекрытия, который сравнивают с нормативным. 3.9.8. Изоляцию от ударного звука проектируемого междуэтажного перекрытия с рулонным полом рассчитывают в следующем порядке:

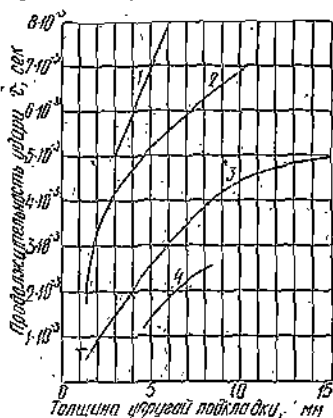


Рис. 3.36. Зависимость продолжительности удара от материала и толщины упругой прокладки

1 — линолеум; 2 — линолеум, резин, линолит, ковровая дорожка на подкладке из губчатой резины; 3 — то же, на подкладке из мягкой технической листовой резины на натуральном каучуке; 4 — то же, на подкладке из мягкой технической листовой резины на синтетическом каучуке

а) в зависимости от материала и толщины упругой прокладки выбранного рулонного пола по графику рис. 3.36 определяют продолжительность стандартного удара t , с.

Примечание. Продолжительность стандартного удара t — это время контакта при ударе молотка стандартной машины проектируемым рулонным полом.

б) вычисляют резонансную частоту колебаний пола

$$f_0 = \frac{0,45}{t} \text{ Гц}; \quad (3.22)$$

в) строят график, на оси абсцисс которого откладывают резонансную частоту f_0 . Из точки f_0 проводят прямую с наклоном 12 дБ на каждую октаву. На график наносят кривую требуемого снижения приведенного уровня ударного звука $\Delta L_{\text{тр}}$, определяемому по табл. 3.16 и рис. 3.32;

г) вычисляют показатель изоляции E_y проектируемого междуэтажного перекрытия и сравнивают с нормативным.

Примеры (11, 12) расчета показателя изоляции E_y приведены в конце главы.

3.10. КАБИНЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ, ЗВУКОИЗОЛИРОВАННЫЕ УКРЫТИЯ

3.10.1. Чтобы защитить от шума обслуживающий персонал, на производственных участках с шумными технологическими процессами или особо шумным оборудованием (стенды для испытания турбореактивных и поршневых двигателей, газовых турбин и т. п., агрегаты с мощными электроприводами, вибростенды, машинные залы компрессорных и др.) должны устраиваться кабины наблюдения и дистанционного управления. Такие кабины представляют собой изолированные помещения из обычных строительных материалов.

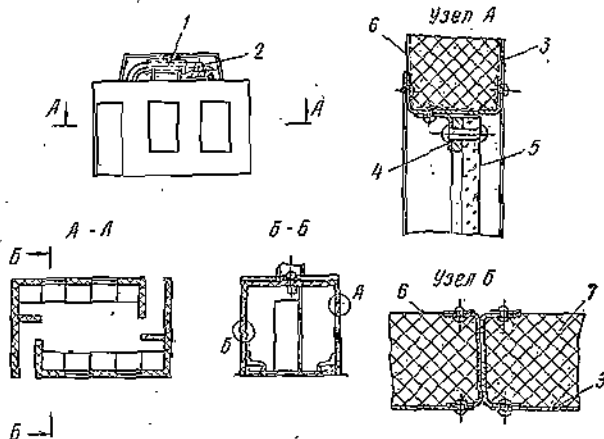


Рис. 3.37. Схема звукоизолирующего укрытия (кабины)

1 — фронтальный глушитель; 2 — вытяжной вентилятор; 3 — лист из стали или алюминиевого сплава; 4 — резиновая прокладка; 5 — оргстекло; 6 — обложка из перфорированного авиапола; 7 — звукопоглощающий материал

Требуемую звукоизолирующую способность ограждающих конструкций, окон и дверей таких кабин определяют по формуле (3.1) или (3.2). Конструкции выбирают по таблицам, приведенным в пп. 3.3—3.5. Звукоизоляцию мест прохода технологических и других коммуникаций выполняют с учетом рекомендаций п. 3.6.

Требуемая звукоизолирующая способность ограждений кабины наблюдения может быть понижена, если применить облицовку свободных внутренних поверхностей кабины звукопоглощающим материалом. При этом увеличивается постоянная помещения V_n кабины

и уменьшается требуемая звукоизолирующая способность ограждений [см. формулу (3.1)].

Пример (3) расчета и проектирования кабины наблюдения дан в конце главы.

3.10.2. На аэродромах, в шумных цехах и на производственных участках, где невозможно устроить кабины наблюдения с дистанционным управлением, можно устраивать звукоизолированные укрытия для персонала, не связанного постоянно или временно с работой около шумных стенов или агрегатов.

Укрытия могут иметь облегченную конструкцию и изготавливаться из сборных металлических панелей. Такие конструкции должны быть обязательно герметизированы резиновыми прокладками и с внутренней стороны иметь звукопоглощающую облицовку толщиной не менее 50 мм (рис. 3.37).

Акустический расчет звукоизолированных укрытий производят, как указано в п. 3.3. Материал, толщину стенок конструкций ограждений выбирают по табл. 3.2 и 3.4, двери и окна — по табл. 3.9 и 3.11.

3.11. ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИЕ КОЖУХИ

3.11.1. Наиболее простым и дешевым способом снижения шума в производственных помещениях является устройство звукоизолирующих кожухов, полностью закрывающих наиболее шумные агрегаты. Существенное преимущество этого способа — возможность снижения шума на любую требуемую величину в расчетных точках, расположенных на рабочих местах обслуживаемого персонала. Кожухи могут быть съемными или разборными, они могут иметь смотровые окна, открывающиеся двери; а также проемы для ввода различных коммуникаций. При этом все перечисленные выше элементы должны быть конструктивно выполнены таким образом, чтобы обеспечить такую же акустическую эффективность, как и у сплошного герметического кожуха.

Конструкция кожуха будет наиболее простой, если для работы агрегата не нужны система обдува или смотровые окна. Кожухи могут быть из стали,

для забора воздуха выполнено в виде щелевого глушителя прямоугольной формы, облицованного с двух сторон звукопоглощающим материалом. В месте забора воздуха каналы имеют форму узких концентрических колец, образованных звукопоглощающими элементами. Приводной вал проходит внутри глушителя цилиндрической формы.

Приведенные схемы заглушения каналов для прохода воздуха не являются единственно возможными. В ряде случаев, когда необходим, например, интенсивный обдув машин или агрегатов, закрытых кожухами, его можно осуществить устройством системы принудительной циркуляции, установив на воздуховодах вентиляционные глушители.

3.11.2. При проектировании кожуха необходимо прежде всего определить его требуемую акустическую эффективность.

Требуемая эффективность звукоизолирующего кожуха определяется по формулам:

$$\Delta L_{\text{эф.тр}} = L_p - 10 \lg S - L_{\text{доп}} + 5 \text{ дБ} \quad (3.23)$$

или

$$\Delta L_{\text{эф.тр}} = L - L_{\text{доп}} + 5 \text{ дБ}, \quad (3.24)$$

где L_p — октавный уровень звуковой мощности источника шума, дБ; S — площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей машину и проходящей через расчетную точку (см. рис. 2.12); L — октавный уровень звукового давления в расчетной точке; $L_{\text{доп}}$ — допустимый по нормам уровень звукового давления в расчетной точке (на рабочем месте), дБ.

3.11.3. Акустическая эффективность кожуха (см. п. 1.8) зависит от звукоизолирующей способности его стенок, размеров кожуха и источника шума, наличия звукопоглощающей облицовки под кожухом, от способа установки кожуха.

Звукоизолирующая способность стенок кожуха определяется поверхностной плотностью и жесткостью, в сильной степени зависит от формы стенки (плоская или цилиндрическая) и ее размеров (линейные размеры одной грани или радиус цилиндрической стенки). Кроме того, звукоизолирующая способность меняется при нанесении на стенку кожуха слоя звукопоглощающего материала.

Эмпирическая зависимость между этими величинами

$$\Delta L_{\text{эф.к}} = R_k - 10 \lg \frac{S_k}{S_{\text{ист}}} \text{ дБ}, \quad (3.25)$$

где $\Delta L_{\text{эф.к}}$ — акустическая эффективность кожуха, дБ; R_k — звукоизолирующая способность стенки кожуха, дБ; $S_{\text{ист}}$ — площадь воображаемой поверхности, вплотную окружающей источник шума, м²; S_k — площадь поверхности кожуха, м².

Требуемая звукоизолирующая способность стенок кожуха $R_{k, \text{тр}}$ зависит от требуемой эффективности кожуха и определяется по формуле

$$R_{k, \text{тр}} = \Delta L_{\text{эф.тр}} + 10 \lg \frac{S_k}{S_{\text{ист}}} \text{ дБ}, \quad (3.26)$$

где $\Delta L_{\text{эф.тр}}$ — требуемая акустическая эффективность кожуха, определяемая по формуле (3.23) или (3.24), дБ.

3.11.4. При проектировании кожухов, имеющих стенки плоской формы (кожухов в форме параллелепипеда, шестигранника и т. п.), звукоизолирующую способность стенок приблизительно можно определять по методике, изложенной в п. 3.7. Для кожухов из стали или дюралюминиевых сплавов можно пользоваться данными табл. 3.2 и 3.17.

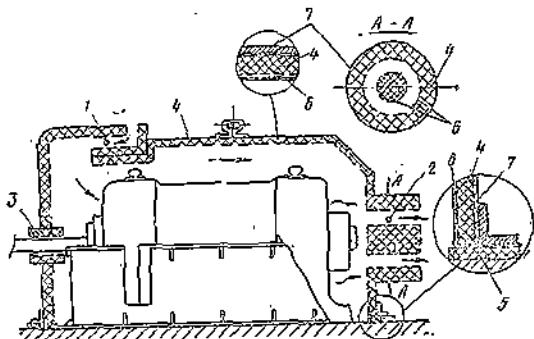


Рис. 3.38. Схема звукоизолирующего кожуха

1, 2 — глушители в отверстиях для циркуляции воздуха; 3 — глушитель в отверстии для привода; 4 — звукопоглощающая облицовка; 5 — резиновая прокладка; 6 — перфорированный лист или сетка; 7 — металлический лист

дюралюминия, фанеры и других листовых материалов. Внутри кожуха рекомендуется облицовывать звукопоглощающим материалом толщиной 30—50 мм.

Устройство кожуха на машину, для работы которой необходимо обеспечить циркуляцию воздуха через машину, показано на рис. 3.38. В этом случае кожух имеет каналы для прохода воздуха, которые сделаны в виде щелевых глушителей. С одной стороны отверстие

Звукоизолирующая способность стенок кожухов, дБ

Конструкция	Толщина листа, мм	Размер элемента (между ребрами жесткости), м	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стальной лист, покрытие из вибродемпфирующей мастики БД-17-58 толщиной 4 мм	0,7	2x2	(20)	24	28	33	37	39	42	(45)
Стальной лист, покрытие из минераловатных плит ($\rho_{ср} = 100 \text{ кг/м}^3$) толщиной 70 мм	1,5	1x1	—	20	26	35	39	40	46	48
Дюралюминиевый лист, покрытие из минераловатных плит ($\rho_{ср} = 100 \text{ кг/м}^3$) толщиной:										
80 мм	2	2x2	(20)	15	20	28	36	43	50	53
70 мм	2	2x2	—	20	25	35	45	51	61	57

Если звукоизолирующая способность стенки кожуха ниже $R_{к.тр}$, следует увеличить толщину стенки или заменить материал кожуха. Звукоизолирующую способность стенки можно также увеличить нанесением на внутренние стенки кожуха слоя звукопоглощающего материала.

Дополнительная звукоизолирующая способность стенки кожуха благодаря нанесению звукопоглощаю-

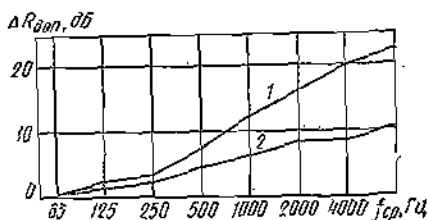


Рис. 3.39. Дополнительная звукоизолирующая способность слоя звукопоглощающего материала для различных линейных размеров стенки

1 — максимальный размер стенки $a = 2 \text{ м}$;
2 — максимальный размер стенки $a = 1 \text{ м}$

щего слоя зависит от размера грани кожуха. Приближенную оценку дополнительной звукоизоляции от облицовки кожуха слоем супертонкого стеклянного или базальтового волокна толщиной 30—50 мм ($\rho_{ср} = 20 \text{ кг/м}^3$) или слоем полужестких минераловатных

плит толщиной 50—80 мм ($\rho_{ср} = 100 \text{ кг/м}^3$) можно произвести по графику рис. 3.39.

Если максимальный размер грани кожуха $1 \text{ м} < a < 2 \text{ м}$, то берутся промежуточные значения $\Delta R_{доп}$ из того же графика.

Примечание. Для цилиндрического или полусферического кожуха за размер a принимают максимальный размер развертки боковой поверхности кожуха.

При подборке конструктивных параметров кожухов цилиндрической формы можно пользоваться графиками звукоизолирующей способности цилиндрических стенок (рис. 3.40) в зависимости от диаметра цилиндра D и толщины стенки.

Для приближенной оценки звукоизолирующей способности R_k тонкостенных цилиндрических кожухов (толщина стенки $\delta = 0,7 \text{ мм}$) с различными покрытиями при размерах кожуха $400 < D < 600 \text{ мм}$ можно пользоваться табл. 5.7, а при других размерах — табл. 3.18.

Если кожух имеет форму полуцилиндра, то звукоизолирующую способность его стенки следует определять по графикам (рис. 3.40) для цилиндрических кожухов, используя для полуцилиндра диаметром D кривую звукоизолирующей способности для цилиндра с диаметром $1,5 D$. Например, если полуцилиндр имеет диаметр 1,2 м, то его звукоизолирующую способность определяют по кривой для цилиндрического кожуха диаметром 1,8 м.

3.11.5. При наличии в стенке кожуха смотрового окна или двери средняя звукоизолирующая способность стенки кожуха с окном или дверью должна быть не ниже требуемой ($R_{тр.ср} \geq R_{к.тр}$). Определение

Таблица 3.18

Звукоизолирующая способность тонкостенных цилиндрических кожухов

Конструкция	Толщина листа, мм	Диаметр цилиндра, м	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стальной цилиндр, покрытие из базальтового супертонкого стеклянного ($\rho_{ср} = 20 \text{ кг/м}^3$) толщиной 25 мм	1,5	1,2	(48)	45	39	38	41	44	52	55
		0,6	(43)	38	38	42	44	46	48	52
То же	3	0,6	(41)	39	41	41	44	48	49	54
Стальной цилиндр без звукопоглощающего покрытия	1,5	1,2	(41)	38	32	25	26	34	44	33
		0,6	(48)	46	42	41	39	34	31	(40)

средней звукоизолирующей способности ограждений производится в соответствии с п. 3.4.1.

3.11.6. Если кожух должен иметь отверстия для циркуляции воздуха или для прохода коммуникаций, в эти отверстия должны быть вмонтированы специальные щелевые глушители, акустическая эффективность которых должна быть не ниже $R_{к.тр}$. Подбор глушителей можно произвести по табл. 7.1. Ширина

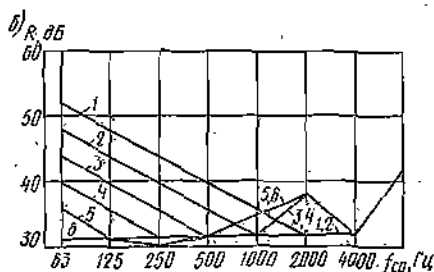
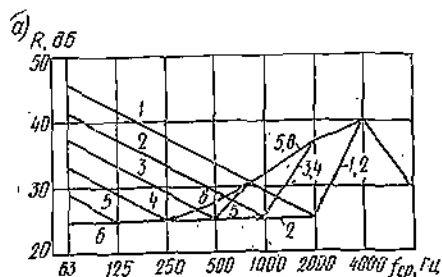


Рис. 3.40. Звукоизолирующая способность цилиндрической стенки кожуха из стали

a — толщиной 1,5 мм; b — то же, 3 мм;
1—6 — диаметры цилиндров соответственно 0,6; 0,9; 1,2; 1,8; 2,5 и 5 м

щели в таких глушителях должна быть 20—40 мм при двусторонней облицовке щели и 10—20 мм при односторонней (см. рис. 7.2). Толщина облицовки 50 мм.

3.11.7. Звукоизолирующие кожухи следует устанавливать на полу на резиновых прокладках, не допуская соприкосновения элементов кожуха с агрегатом. Если кожух закрывает только наиболее шумную часть агрегата и соединен со стальной или другими элементами источника шума, то даже при наличии виброизолирующих прокладок зависимость между акустической эффективностью кожуха $\Delta L_{эф.н}$ и звукоизолирующей способностью его стенок R_n не соответствует выражению (3.25). Эффективность кожуха будет значительно ниже и может быть определена только экспериментальным путем.

Во всех случаях когда на кожух могут передаваться вибрации от изолируемого источника шума, стенки кожуха следует покрывать вибродемпфирующим материалом мастичного типа. Толщина покрытия должна быть в 2—3 раза больше толщины металлической стенки кожуха. Пример (14) расчета кожуха дан в конце главы

3.12. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Задание. Определить показатель изоляции от воздушного шума ограждения, частотная характеристика звукоизолирующей способности которого приведена на рис. 3.41.

Решение. Наносим на график (рис. 3.41) нормативную кривую (рис. 3.2). Определяем неблагоприятные

отклонения, затем находим их сумму и вычисляем среднее неблагоприятное отклонение. Сдвигаем нормативную кривую вниз на величину среднего неблагоприятного отклонения, округленную до целого числа децибел (в нашем примере на 3 дБ). Снова определяем среднее неблагоприятное отклонение (от сдвинутой кривой). Расчет приведен в табл. 3.19.

Таблица 3.19

Частоты f , Гц	Фактические значения R , дБ	Нормативные значения R_n , дБ	$R - R_n$, дБ	Значения R_n нормативной кривой, сдвинутой вниз на 3 дБ	Неблагоприятные отклонения $R - (R_n - 3)$, дБ
100	37,5	33	4,5	30	—
125	39,5	36	3,5	33	—
160	41,5	39	2,5	36	—
200	42,5	42	0,5	39	—
250	42,5	45	-2,5	42	—
320	42,5	48	-5,5	45	2,5
400	43	51	-8	48	5
500	44	52	-8	49	5
640	45	53	-8	50	5
800	45,5	54	-8,5	51	5,5
1000	49	55	-6	52	3
1250	53,5	56	-2,5	53	—
1600	57,5	56	1,5	53	—
2000	60,5	56	4,5	53	—
2500	63	56	7	53	—
3200	65,5	56	9,5	53	—

Сумма неблагоприятных отклонений $(R - R_n) = 49$ дБ. Среднее неблагоприятное отклонение $49 : 15 = 3,3 > 2$ дБ.

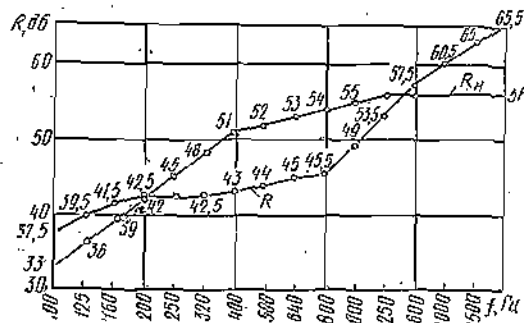


Рис. 3.41. График расчета показателя изоляции от воздушного шума

После смещения R_n сумма неблагоприятных отклонений равна 26 дБ, среднее неблагоприятное отклонение $26 : 15 = 1,7 < 2$ дБ, показатель изоляции $E_n = -3$ дБ.

Пример 2. Задание. Определить требуемую звукоизолирующую способность и запроектировать перекрытие между вентиляционной камерой объемом 208 м³ (4 × 13 × 4 м) и расположенным под ней конструкторским залом объемом 1300 м³ (13 × 25 × 4 м). Площадь перекрытия, граничащего с вентиляционной камерой, равна 52 м².

В камере установлены два вентилятора. Уровни звуковой мощности, излучаемой каждым из вентиляторов L_{p_i} , дБ, приведены в табл. 3.20.

Решение. Пользуясь табл. 1.3 сложения уровней, определяем суммарный уровень звуковой мощности $L_{p_{сум}}$, излучаемой обоими вентиляторами. Результаты расчета приведены в табл. 3.21.

Постоянные B_m и B_n шумного и изолируемого помещений рассчитываем в соответствии с п. 2.4.5.

Таблица 3.20

Уровень звуковой мощности, дБ	Среднегеометрическая частота, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_{p1}	101	101	98	99	103	107	106	111
L_{p2}	99	95	86	96	95	93	112	116

Таблица 3.21

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{p \text{ сум. дБ}}$	103	102	98	101	104	107	113	117

Шумное помещение относим к категории а, изолируемое — к категории в по табл. 2.6. Допустимые уровни звукового давления в конструкторском зале принимаем по табл. 2.3 (спектр ПС-45). Требуемую звукоизолирующую способность перекрытия определяем по формуле (3.1). Расчет сведен в табл. 3.22.

зала вибростендов, имеющего размер $12 \times 18 \times 8$ м. Размеры кабины наблюдения $12 \times 6 \times 4$ м. Площадь глухой части стены S_1 и перекрытия кабины наблюдения S_2 , граничащих с залом вибростендов, соответственно равны: 48 и 72 м², площадь двери $S_3 = 4$ м², окна $S_4 = 3$ м².

Суммарный уровень звуковой мощности $L_{p \text{ сум.}}$ получаемой всеми вибростендами, размещенными в зале вибростендов, приведен в табл. 3.24.

Решение. Определяем по п. 2.4.5. постоянные $B_{ш}$ и $B_{и}$ соответственно шумного и изолируемого помещений, отнеся оба помещения к категории а (табл. 2.6). Требуемую звукоизолирующую способность каждого элемента ограждения определяем по формуле (3.1). Допустимые уровни звукового давления выбираем по табл. 2.3 (спектр ПС-75). Расчет сводим в табл. 3.25.

Конструкцию элементов ограждений с требуемой величиной звукоизолирующей способности выбираем по табл. 3.2, 3.4, 3.9—3.11. Величины звукоизолирующей способности подходящих конструкций приведены в табл. 3.26.

Пример 4. Задание. Определять требуемую звукоизолирующую способность остекленной части наружной стены машинного зала компрессорной станции

Таблица 3.22

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$B_{ш \text{ зал.}} (V=208 \text{ м}^3)$	м ²	Рис. 2.3, табл. 2.6	—	—	—	—	10	—	—	—
$B_{ш} = B_{ш \text{ зал.}} \mu$	м ²	Табл. 2.7	0,95	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
$10 \lg B_{ш}$	дБ	—	9	8	8	9	10	14	18	25
$B_{и \text{ зал.}} (V=1300 \text{ м}^3)$	м ²	Рис. 2.3, табл. 2.6	—	—	—	—	240	—	—	—
$B_{и} = B_{и \text{ зал.}} \mu$	м ²	Табл. 2.7	0,5	0,3	0,55	0,7	1	1,6	3	6
$10 \lg B_{и}$	дБ	—	120	120	132	168	240	384	720	1440
$L_{p \text{ сум}}$	дБ	Табл. 3.21	103	102	98	101	104	107	113	117
$10 \lg S + 6 (S=52 \text{ м}^2)$	дБ	—	23	23	23	23	23	23	23	23
$L_{доп} = L_{п}$	дБ	Табл. 2.3	71	61	54	49	45	42	40	38
$R_{тр}$	дБ	Ф-ла (3.1)	24	34	38	44	48	51	54	56

Таблица 3.23

Конструкция	Ссылка	Среднегеометрическая частота, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Железобетонная плита толщиной 160 мм с круглыми пустотами	Табл. 3.4, п. 5	—	37	38	47	53	57	57	—
Железобетонная плита типа ИИ-64, вып. 1, П-1, бетонная стяжка 50 мм	Табл. 3.4, п. 15	—	39	39	46	54	63	68	—

Перекрытие с требуемой звукоизолирующей способностью выбираем по табл. 3.4. Конструкции и величины звукоизолирующей способности подходящих перекрытий приведены в табл. 3.23.

Пример 3. Задание. Запроектировать стену с окном и дверью и перекрытие кабины наблюдения

Таблица 3.24

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{p \text{ сум. дБ}}$	93	90	91	108	117	116	115	117

(площадь глухой части стены $S_1 = 105$ м², площадь остекления $S_2 = 195$ м²), если ближайшее здание, которое должно быть изолировано от шума (лабораторный корпус с помещениями без собственных источников шума), расположено на расстоянии 32 м. Глухая часть стены кирпичная, толщиной 2,5 кирпича.

Проектируемая компрессорная станция оборудована тремя компрессорами, размещенными в машинном зале объемом 5400 м³ (30 × 18 × 10 м).

Уровень звуковой мощности L_{p1} , излучаемой каждым из турбокомпрессоров, приведен в табл. 3.27.

Решение. Вычисляем с помощью табл. 1.3 суммарный уровень звуковой мощности шума $L_{p \text{ сум.}}$, излучаемого всеми турбокомпрессорами, размещенными в машинном зале.

Таблица 3.25

№ п. п.	Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	$B_{ш1000} (V=1700 \text{ м}^3)$	л ²	Рис. 2.3, табл. 2.6	—	—	—	—	70	—	—	—
2	μ	—	Табл. 2.7	0,5	0,5	0,58	0,7	1,0	1,6	3,0	6,0
3	$E_{ш} = B_{ш1000} \cdot \mu$	л ²	—	35	35	40	49	70	110	210	420
4	$B_{ш1000} (V=290 \text{ м}^3)$	л ²	Рис. 2.3, табл. 2.6	—	—	—	—	30	—	—	—
5	μ	—	Табл. 2.7	0,65	0,62	0,64	0,75	1,0	1,6	3,0	6,0
6	$B_{ш} = B_{ш1000} \cdot \mu$	л ²	—	20	19	19	23	30	45	72	126
7	$L_p \text{ сум}$	дБ	Табл. 3.24	93	90	91	108	117	116	115	117
8	$L_{доп} = L_p$	дБ	2.3	94	87	82	78	75	73	71	70
9	$10 \lg n + 6 (n=4)$	дБ	—	12	12	12	12	12	12	12	12
10	$10 \lg B_{ш}$	дБ	—	15	15	16	17	18	20	23	26
11	$10 \lg B_{ш}$	дБ	—	13	13	13	14	15	16	18	21
12	Δ	дБ	$(7)-(8)+(9)-$ $-(10)-(11)$	-17	-13	-8	+11	+21	+19	+15	+12
13	$10 \lg S_1 (S_1=48 \text{ м}^2)$	дБ	—	17	17	17	17	17	17	17	17
14	$10 \lg S_2 (S_2=72 \text{ м}^2)$	дБ	—	19	19	19	19	19	19	19	19
15	$10 \lg S_3 (S_3=4 \text{ м}^2)$	дБ	—	6	6	6	6	6	6	6	6
16	$10 \lg S_4 (S_4=3 \text{ м}^2)$	дБ	—	5	5	5	5	5	5	5	5
17	$R_{тр.1} = \Delta + 10 \lg S_1$	дБ	Ф-ла (3.1)	0	4	9	28	38	36	32	29
18	$R_{тр.2} = \Delta + 10 \lg S_2$	дБ	То же	2	6	8	30	40	38	34	31
19	$R_{тр.3} = \Delta + 10 \lg S_3$	дБ	»	0	0	0	17	27	27	21	18
20	$R_{тр.4} = \Delta + 10 \lg S_4$	дБ	»	0	0	0	18	26	24	20	17

Таблица 3.26

Конструкция	Ссылка	Звукоизолирующая способность (дБ) при среднегеометрической частоте, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стены и перекрытие из гипсобетонных плит толщиной 80 мм	Табл. 3.2, п. 5	—	28	33	37	39	44	44	42
Обыкновенная филенчатая дверь с уплотняющими прокладками из резины	Табл. 3.9, п. 1	12	18	19	23	30	33	32	—
Окно с органическим стеклом 4 мм	Табл. 3.11, п. 5	(13)	17	21	25	29	33	36	30

Таблица 3.27

Уровень звуковой мощности, дБ	Среднегеометрическая частота, Гц								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L_p	89	98	102	101	101	104	99	92	
L_{pT}	93	97	104	103	102	101	102	97	
L_{pT}	108	116	120	120	125	121	120	118	

Результаты сложения уровней звуковой мощности сводим в табл. 3.28.

Таблица 3.28

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{p \text{ сум. дБ}}$	108	116	120	120	125	121	120	118

Определяем постоянную $B_{ш}$ помещения машинного зала по п. 2.4.5, отнеся это помещение к категории а (по табл. 2.6). Определяем требуемую звукоизолирующую

способность глухой части стены по формуле (3.3). Нормативный спектр (ПС-45) выбираем по табл. 2.3, вносим поправку +10 дБ, так как расчетная точка расположена снаружи здания.

Шум в атмосферу может проникать через глухую и остекленную части стены, поэтому в формуле (3.3) принимаем $n = 2$.

Расчет сводим в табл. 3.29.

Так как фактическая звукоизолирующая способность глухой части стены более чем на 10 дБ выше требуемой, то при расчете $R_{тр}$ остекленной части стены можно принять $n = 1$ (п. 3.2.2).

Расчет требуемой звукоизолирующей способности остекленной части стены по формуле (3.3) сводим в табл. 3.30.

Величины звукоизолирующей способности выбранной по табл. 3.11 конструкции остекления приведены в табл. 3.31.

Пример 5. Задание. Определить требуемую звукоизолирующую способность остекленной части стены (площадь $S = 60 \text{ м}^2$) помещения конструкторского зала, если источником шума, проникающего из атмосферы, является компрессорная станция с незаглушенными шахтами всасывания, оснащенная двумя турбокомпрессорами и одним компрессором высокого да-

Таблица 3.29

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$B_{ш1000}$ ($V=5400 \text{ м}^3$)	м^2	Рис. 2.3, табл. 2.6	—	—	—	—	240	—	—	—
μ	—	Табл. 2.7	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
$B_{ш} = B_{ш1000} \mu$	м^2	—	120	120	132	168	240	384	720	1440
$L_{p \text{ сум}}$	дБ	Табл. 3.28	108	116	120	120	125	121	120	118
$10 \lg B_{ш}$	»	—	21	21	21	22	24	26	29	32
$20 \lg r + 5$ ($r=30 \text{ м}$)	»	—	35	35	35	35	35	35	35	35
$10 \lg n$ ($n=2$)	»	—	3	3	3	3	3	3	3	3
$L_{ш}$	»	Табл. 2.3	71	61	54	49	45	42	40	38
$L_{доп} = L_{ш} + 10$	»	Ф-ла (2.2)	81	71	64	59	55	52	50	48
$10 \lg S_1$ ($S_1=105 \text{ м}^2$)	»	—	23	23	23	23	23	23	23	23
$R_{тр. 1}$	»	Ф-ла (3.3)	—	12	23	27	34	31	29	26
Фактическая звукоизолирующая способность глухой части стены (2,5 кирпича)	»	Табл. 3.2, п. 1	45	47	55	60	67	70	70	70

Таблица 3.30

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{p \text{ сум}}$	дБ	Табл. 3.28	108	116	120	120	125	121	120	118
$10 \lg B_{ш}$	»	» 3.29	21	21	21	22	24	26	29	32
$20 \lg r + 5$ ($r=30 \text{ м}$)	»	» 3.29	35	35	35	35	35	35	35	35
$L_{ш}$	»	» 2.3	71	61	54	49	45	42	40	38
$L_{доп} = L_{ш} + 10$	»	Ф-ла (2.2)	81	71	64	59	55	52	50	48
$10 \lg S_2$ ($S_2=195 \text{ м}^2$)	»	—	23	23	23	23	23	23	23	23
$R_{тр. 2}$	»	Ф-ла (3.3)	—	12	23	27	34	31	29	26

Таблица 3.31

Конструкция	Ссылка	Звукоизолирующая способность (дБ) при среднегеометрической частоте, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стеклопакеты из силикатного стекла толщиной $d=4 \text{ мм}$ и воздушным промежутком 16 мм (с герметизацией притворов)	Табл. 3.11, п. 8	—	16	26	28	37	41	41	—

ения. Среднее расстояние от компрессорной станции до корпуса, в котором расположен конструкторский зал, равно 32 м.

Уровни звуковой мощности, излучаемой в атмосферу каждым турбокомпрессором (L_{p_i}) и компрессором (L_{p_2}) со стороны всасывания, приведены в табл. 3.32.

Помещение конструкторского зала имеет объем 380 м^3 ($40 \times 18 \times 4 \text{ м}$).

Решение. Расчет суммарных уровней звукового давления $L_{\text{сум}}$ снаружи на расстоянии 2 м от плоскости

окон конструкторского зала при работе двух турбокомпрессоров и одного компрессора производим по формулам (3.6) и (3.7) и сводим в табл. 3.33.

Определяем постоянную $B_{ш}$ помещения конструкторского зала, отнеся это помещение к категории в по табл. 2.6. Допустимый уровень звукового давления в изолируемом помещении принимаем по табл. 2.3 (спектр ПС-45).

Требуемую звукоизолирующую способность остекленной части стены $R_{тр}$ определяем по формуле (3.5). Расчет приведен в табл. 3.34.

Величины звукоизолирующей способности в дБ выбранного остекления приведены в табл. 3.35.

Пример 6. Задание. Рассчитать частотную характеристику звукоизолирующей способности железобетонной панели толщиной 12 см.

Решение 1. Определяем среднюю поверхностную плотность ограждения

$$q = 2400 \cdot 0,12 = 290 \text{ кг/м}^2.$$

Таблица 3.32

Уровень звуковой мощности, дБ	Среднегеометрическая частота, Гц								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L_{p_1}	102	100	95	96	104	111	107	98	
L_{p_2}	110	95	84	81	75	72	67	65	

Таблица 3.33

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_{P_1}	дБ	Табл. 3.32	102	100	95	96	104	111	107	98
$20 \lg r$ ($r=30$ м)	»	—	30	30	30	30	30	30	30	30
L_1	»	Ф-ла (3.7)	64	62	57	58	66	73	69	60
$L_1 + 10 \lg m$ ($m=2$)	»	—	67	65	60	61	69	76	72	63
$L_{P_{21}}$	»	Табл. 3.32	100	95	84	81	75	72	67	55
$20 \lg r$ ($r=30$ м)	»	—	30	30	30	30	30	30	30	30
L	»	Ф-ла (3.7)	62	57	46	43	37	36	29	17
$L_{\text{сум}}$	»	Ф-ла (3.6), табл. 1.3	68	66	60	61	69	76	72	63

Таблица 3.34

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$B_{\text{норм}} (V=2300 \text{ м}^2)$	м²	Рис. 2.3, табл. 2.6	—	—	—	—	400	—	—	—
n	—	Табл. 2.7	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
$B_{\text{н}} = B_{\text{норм}} n$	м²	—	200	200	240	280	400	640	1200	2400
$L_{\text{сум}}$	дБ	Табл. 3.33	6	66	60	61	60	76	72	63
$10 \lg S + 6$ ($S=60 \text{ м}^2$)	»	—	24	24	24	24	24	24	24	24
$10 \lg B_{\text{н}}$	»	—	23	23	24	24	26	28	31	34
$L_{\text{пол}} = L_{\text{н}}$	»	Табл. 2.3	71	61	54	49	45	42	40	39
$R_{\text{тр}}$	»	Ф-ла (3.5)	—	6	6	12	22	30	25	14

Таблица 3.35

Конструкция	Ссылка	Звукоизолирующая способность (дБ) при среднегеометрической частоте, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Оконный блок с двойным переплетом, толщина стекла 3 мм, зазор 170 мм (без уплотняющих прокладок)	Табл. 3.11, п. 2	—	27	36	38	30	28	27	—

2. По табл. 3.12 находим координаты точек В, С и Д:

$$f_B = \frac{30000}{290} = 104 \text{ Гц}, R_B = 40 \text{ дБ};$$

$$f_C = \frac{80000}{290} = 275 \text{ Гц}, R_C = 40 \text{ дБ};$$

$$f_D = \frac{900000}{290} = 3100 \text{ Гц}, R_D = 60 \text{ дБ}.$$

3. Наносим эти точки на бланк графика рис. 3.26. Из точки В в сторону низких частот проводим прямую с наклоном 6 дБ на октаву; соединяем прямыми линиями точки В, С и Д и далее из точки Д проводим прямую, параллельную оси абсцисс.

4. Значения R для средних частот октавных полос переносим с графика рис. 3.26 на бланк графика рис. 3.27 и получаем частотную характеристику звукоизолирующей способности в октавных полосах частот.

Пример 7. Задание. Построить частотную характеристику звукоизолирующей способности стальной перегородки толщиной $d = 0,005$ м.

Решение 1. Определяем критическую частоту по формуле (3.9)

$$f_{\text{кр}} = \frac{6,4 \cdot 10^4}{0,005 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 10^3} = 2540 \text{ Гц}.$$

2. На бланке графика рис. 3.28 откладываем значения абсцисс, равные $0,25 f_{\text{кр}}$, $0,5 f_{\text{кр}}$, $f_{\text{кр}}$ и $2 f_{\text{кр}}$. По табл. 3.13 определяем значения ординат для этих частот:

$$f, \text{ Гц} \quad 0,25 f_{\text{кр}} \quad 0,5 f_{\text{кр}} \quad f_{\text{кр}} \quad 2 f_{\text{кр}}$$

$$R, \text{ дБ} \quad 35 \quad 37 \quad 30 \quad 39$$

Полученные точки соединяем прямыми линиями.

3. Из точки со значением ординаты на частоте $0,25 f_{\text{кр}}$ влево проводим прямую со спадом 4 дБ на 1 октаву, а из точки со значением ординаты на частоте $2 f_{\text{кр}}$ — вправо с подъемом 8 дБ на 1 октаву (рис. 3.28).

4. С графика рис. 3.28 переносим значения R на бланк графика рис. 3.42 и получаем частотную характеристику звукоизолирующей способности R в октавных полосах.

Пример 8. Задание. Рассчитать показатель изоляции от воздушного шума междуэтажного перекрытия с полом на упругом основании.

Толщина несущей железобетонной плиты перекрытия $h_1 = 10$ см, железобетонной панели поперечной стены $h_2 = 12$ см.

Решение. По табл. 3.14 находим $c_1 = c_2 = 3700 \text{ кг/м}^3$. Определяем средние поверхностные плотности плиты перекрытия $q_1 = 2500 \cdot 0,1 = 250 \text{ кг/м}^2$ поперечной стены $q_2 = 2500 \cdot 0,12 = 300 \text{ кг/м}^2$. Нахо-

дим по графику (рис. 3.29) для $q_1 = 250 \text{ кг/м}^2$ $E_{в.о} = -4 \text{ дБ}$. Вычисляем параметры

$$m = \frac{250}{300} = 0,83 \text{ и } \alpha = 0,83 \sqrt{\left(\frac{3700 \cdot 10}{3700 \cdot 12}\right)^2} = 0,62$$

и по графику (рис. 3.30) находим $\Delta E_{в.о} \approx +4 \text{ дБ}$. По формуле (3.15) находим $E_{в.о} = -4 + 4 = 0 \text{ дБ}$.

Пример 9. Задание. Рассчитать показатель изоляции от воздушного шума межквартирной железобетонной перегородки толщиной 12 см с гибкими плитами на основе с обеих сторон. Перекрытие — как в примере 8.

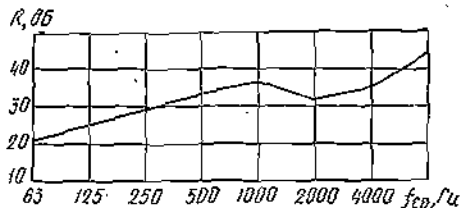


Рис. 3.42. Частотная характеристика (в октавных полосах) звукоизолирующей способности стальной перегородки (пример 7)

Решение. Для перегородки при $q_2 = 2500 \cdot 0,12 = 300 \text{ кг/м}^2$ по графику (рис. 3.29) находим $E_{в.о} = -2,5 \text{ дБ}$. При вычисленных в предыдущем примере значениях $m = 0,83$ и $\alpha = 0,62$ при помощи графика (рис. 3.31) определяем $\Delta E_{в.о} = 8,5 \text{ дБ}$ и далее по формуле (3.15) $E_{в.о} = -2,5 + 8,5 = +6 \text{ дБ}$.

Пример 10. Задание. Рассчитать показатель изоляции от воздушного шума двойных гипсобетонных перегородок толщиной по 8 см с воздушным промежутком 4 см. Толщина несущей железобетонной плиты перекрытия 10 см. Пол на упругом основании.

Решение. Определяем средние поверхностные плотности несущей плиты перекрытия $q_1 = 2500 \cdot 0,1 = 250 \text{ кг/м}^2$ и одной панели двойной перегородки $q_2 = 1300 \cdot 0,08 = 104 \text{ кг/м}^2$. Находим по графику (рис. 3.29) для $q_2 = 104 \text{ кг/м}^2$, $E_{в.о} = -10 \text{ дБ}$. Вычисляем параметр $m = 250/104 = 2,4$ и по табл. 3.15 находим, что $\Delta E_{в.о} = 7 \text{ дБ}$. По формуле (3.15) определяем показатель изоляции от воздушного шума $E_{в.о} = -10 + 7 = -3 \text{ дБ}$.

Пример 11. Задание. Рассчитать изоляцию от ударного шума междуэтажного перекрытия. Перекрытие состоит из железобетонной плиты толщиной 10 см, сплошного слоя древесноволокнистых плит средней плотностью 200 кг/м^3 , толщиной 2,5 см в необжатом состоянии, гипсоцементной панели средней плотностью 200 кг/м^3 , толщиной 5 см и линолеума средней плотностью 1100 кг/м^2 , толщиной 3 мм.

Решение. Определяем поверхностные плотности элементов перекрытия:

$$\begin{aligned} m_1 &= 1200 \cdot 0,05 + 1100 \cdot 0,03 = 63,3 \text{ кг/м}^2; \\ m_2 &= 200 \cdot 0,025 = 5 \text{ кг/м}^2; \\ m_3 &= 2400 \cdot 0,1 = 240 \text{ кг/м}^2. \end{aligned}$$

В соответствии со значением средней поверхностной плотности несущей части перекрытия $q_2 = 240 \text{ кг/м}^2$ табл. 3.16 за требуемую кривую $\Delta L_{тр}$ принимаем кривую III (рис. 3.32). Наносим ее на график (рис. 3.43).

Находим величину приведенного коэффициента жесткости упругого основания K . Так как приведенная нагрузка на прокладку с учетом временной нагрузки $q_{ст} = 1500 \text{ Па}$ на перекрытие (для жилых зданий)

составляет $q_{ст} = 633 + 1500 = 2133 \text{ Па}$, то расчетный статический модуль упругости минераловатных матов на основании табл. 3.7 равен $E_{ст} = 300 \text{ кПа} = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а расчетный динамический модуль упругости $E_{д} = 1,4 \text{ МПа} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Напряжение в прокладке $\sigma = q_{ст} = 2133 \text{ Па}$, а толщина упругой прокладки в обжатом состоянии по формуле (3.20)

$$h = 0,025 \left(1 - \frac{2 \cdot 133 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^5}\right) = 0,025 \text{ м},$$

тогда по формуле (3.19)

$$K = \frac{E_{д}}{h} = \frac{1,4 \cdot 10^6}{2,5 \cdot 10^{-2}} = 5,6 \cdot 10^8 \text{ Па/м}.$$

Вычисляем резонансную частоту колебаний пола на упругом основании по формуле (3.21):

$$f_0 = 0,05 \sqrt{\frac{K}{q_1}} = 0,05 \sqrt{\frac{5,6 \cdot 10^8}{63,3}} = 150 \text{ Гц}.$$

В нашем случае $\lambda = 240/63,3 = 3,8 < 7$; снижение уровня ударного звука в области низких частот определяется прямой ΔL_1 , проведенной через точку $f_0 = 150 \text{ Гц}$ на оси абсцисс (рис. 3.43) с наклоном 12 дБ на октаву.

Далее из точки $f_0 = 150 \text{ Гц}$ восстанавливаем ординату, равную 8 дБ, и проводим через ее конец (точка А) прямую с наклоном 6 дБ на октаву. Прямая ΔL_1 справедлива левее точки В, а прямая ΔL_2 — правее точки В.

Вычисление показателя изоляции от ударного шума E_y приведено в табл. 3.36.

Сумма неблагоприятных отклонений -4 дБ ; среднее неблагоприятное отклонение $4 : 15 = 0,26 \text{ дБ} \ll 2 \text{ дБ}$; после смещения кривой III в лучшую сторону

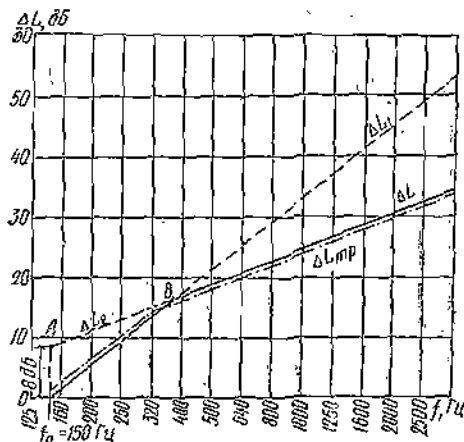


Рис. 3.43. График расчета показателя изоляции от ударного шума

на 2 дБ сумма неблагоприятных отклонений будет равна 29,3 дБ, а среднее неблагоприятное отклонение: $29,3 : 15 = 1,9 < 2 \text{ дБ}$. Показатель изоляции от ударного звука $E_y = +28 \text{ дБ}$. Вычисленный показатель E_y ниже нормативного $E_y = +3 \text{ дБ}$. Следовательно, междуэтажное перекрытие не удовлетворяет требованиям к звукоизоляции. Необходимо, например, заменить древесноволокнистые плиты на минераловатные маты. В этом случае уменьшится значение жесткости K и понизится резонансная частота.

Таблица 3.36

Частота, Гц	Величина требуемого снижения приведенного ударного уровня шума $\Delta L_{тр. \delta B}$ (кривая III на рис. 3.32)	Рассчитанная величина снижения приведенного уровня ударного шума $\Delta L_{\delta B}$ (по рис. 3.43)	Отклонение рассчитанных значений ΔL от значений $\Delta L_{тр. \delta B}$	Величина $\Delta L_{тр. \delta B}$ после сдвига кривой III в лучшую сторону на 2 δB	Отклонение вычисленных значений $\Delta L_{\delta B}$ от значений $\Delta L_{тр. \delta B}$ после сдвига кривой III
100	0	0	0	2	-2
125	0	0	0	2	-2
160	2	1	-1	4	-3
200	2	1	-1	4	-3
250	10	9	-1	12	-3
320	14	13	-1	16	-3
400	18	16,5	+0,5	18	-1,5
500	18	18,5	+0,5	20	-1,5
640	20	20,5	+0,5	22	-1,5
800	22	22,5	+0,5	24	-1,5
1000	24	24,5	+0,5	26	-1,5
1250	26	26,5	+0,5	28	-1,5
1600	28	28,5	+0,5	30	-1,5
2000	30	30,5	+0,5	32	-1,5
2500	32	32,5	+0,5	34	-1,5
3200	34	34,5	+0,5	36	-1,5

Пример 12. Задание. Рассчитать показатель изоляции от ударного шума междуэтажного перекрытия ($q_2 = 300 \text{ кг/м}^2$) с рулонным полом из линолеума на подкладке из губчатой резины толщиной 3 мм.

Решение. Требуемой кривой снижения приведенного уровня ударного шума $\Delta L_{тр}$ является кривая VI на рис. 3.32. Наносим ее на график рис. 3.44. Продолжительность удара по данным графика на рис. 3.36 $\tau = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

Вычисляем резонансную частоту колебаний пола по формуле (3.22):

$$f_0 = \frac{0,45}{4,3 \cdot 10^{-3}} = 105 \text{ Гц}.$$

Строим график зависимости ΔL от частоты (рис. 3.44). Для этого из точки $f_0 = 105 \text{ Гц}$ проводим прямую с наклоном 12 δB на октаву.

Определяем показатель изоляции так же, как в примере 11. Получим $E_y = 8 \delta B$.

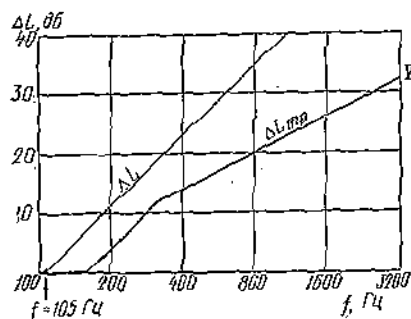


Рис. 3.44. Построение частотной характеристики снижения уровня ударного шума при устройстве рулонного пола

Пример 13. Задание. Определить среднюю звукоизолирующую способность перегородки с дверью на частоте 1000 Гц, если перегородка из атой частоте имеет звукоизолирующую способность $R_c = 40 \delta B$, дверь — $R_0 = 25 \delta B$, $S_0/S_{общ} \approx 10\%$.

Решение. По графику на рис. 3.12 находим при $R_c - R_0 = 40 - 25 = 15 \delta B$, при $K = S_0/S_{общ} =$

$\approx 10\%$ $R_{ср} - R_c \approx -6,5 \delta B$, откуда $R_{ср} = 40 - 6,5 = 33,5 \delta B$.

Определим, что является более целесообразным для повышения звукоизоляции перегородки — увеличение звукоизоляции глухой части перегородки или двери. Увеличим звукоизоляцию глухой части перегородки на 10 δB , т. е. $R_c = 50 \delta B$. Тогда при $R_c - R_0 = 50 - 25 = 25 \delta B$ будет $R_{ср} - R_c = -15 \delta B$ и $R_{ср} = 50 - 15 = 35 \delta B$. Повысим звукоизоляцию двери на 10 δB , сделав в перегородке двойную дверь. Для $R_c - R_0 = 40 - 35 = 5 \delta B$ имеем $R_{ср} - R_c = -1 \delta B$ и $R_{ср} = 40 - 1 = 39 \delta B$.

Отсюда ясно, что для улучшения звукоизоляции стен с проемами следует в первую очередь повышать звукоизоляцию дверей и окон.

Пример 14. Задание. Запроектировать звукоизолирующей кожух на машину. схема которой показана на рис. 3.38. Машина требует охлаждения, поэтому в кожухе должны быть предусмотрены отверстия для циркуляции воздуха. Спектр звуковой мощности, излучаемой машиной, приведен в табл. 3.37

Таблица 3.37

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	300	1000	2000	4000	8000
Уровень звуковой мощности, δB	95	110	116	125	130	126	118	120

Габариты машины: длина 4 м, ширина 2 м, высота 2 м.

Расчетная точка (рабочее место оператора) находится на расстоянии 1 м от поверхности машины.

Решение. Определяем требуемую эффективность кожуха по формуле (3.23). Площадь воображаемой поверхности, окружающей машину и проходящей через расчетную точку. $S \approx (6 \cdot 3) 2 + (4 \cdot 3) 2 + (6 \cdot 4) = 84 \text{ м}^2$.

Допустимые уровни звукового давления принимаем по табл. 2.3 (кривая ПС-85). Определяем поверхность источника шума

$$S_{ист} \approx (2 \cdot 4) 2 + (2 \cdot 2) 2 + (2 \cdot 4) = 32 \text{ м}^2.$$

Из конструктивных соображений выбираем кожух с плоскими гранями (см. рис. 3.38) и определяем площадь его поверхности. Допустим, что $S_{к} = 65 \text{ м}^2$. Затем по формуле (3.26) рассчитываем требуемую звукоизолирующую способность стенок кожуха. Расчет сводим в табл. 3.38.

Для кожуха из металла с ребрами жесткости (реже 1 × 1 м) выбор конструкции стенок можно произвести по табл. 3.2.

Как следует из сопоставления $R_{к.тр}$ с данными табл. 3.2 (поз. 15, 16), стенки кожуха из стали должны иметь толщину не менее 1 мм, из дюрала — не менее 2 мм.

Глушители шума, через которые осуществляется доступ воздуха под кожух, встроенные в проемы кожуха (см. рис. 3.38), должны обладать эффективностью не ниже $R_{к.тр}$. Глушители можно подобрать по табл. 7.1.

В отверстиях 1 и 2 для циркуляции воздуха можно применить щелевые глушители (прямоугольный и кольцевой), изображенные на рис. 7.2, б, длиной по 0,5 м при ширине щели 40 мм. В месте прохода зала в кожух дойдет кольцевой глушитель с односторонней обшивкой (рис. 7.2, в) также длиной 0,5 м, но при ширине щели 20 мм.

Акустическая эффективность всех этих глушителей одинакова; соответствующая частотная характеристика приведена в табл. 3.38.

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p	дБ	Табл. 3.37	95	110	116	125	130	126	118	120
$L_{доп} = L_B$	"	" 2.3	103	96	91	88	85	83	81	80
10 лб S (S = 84 м²)	"		19	19	19	19	19	19	19	19
$\Delta L_{эф.тр}$	"	Ф-ла (3.23)	-7	-5	6	18	26	34	18	21
$10 \lg \frac{S_N}{S_{мет}}$	"	"	3	3	3	3	3	3	3	3
$R_{к.тр}$		Ф-ла (3.26)	-	-	9	21	29	27	21	24
$\Delta L_{уд}$	"	Табл. 7.1	18	18	20	25	33	38	40	34

Глава 4

ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ ОБЛИЦОВКИ ПОМЕЩЕНИЙ И АКУСТИЧЕСКИЕ ЭКРАНЫ

4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1.1. Одним из способов снижения шума в помещениях является их акустическая обработка. Это — облицовка части внутренних поверхностей ограждений помещения звукопоглощающим материалом или специальной звукопоглощающей конструкцией (в виде панелей на основе, кукис и т. п.), а также размещение в помещении штучных звукопоглотителей, представляющих собой свободно подвешиваемые объемные звукопоглощающие тела различной формы.

Акустически обработанные поверхности помещения и штучные поглотители уменьшают интенсивность отраженных звуковых волн. Штучные звукопоглотители, если они расположены близко к источнику шума, частично уменьшают также и интенсивность прямого звука.

Наибольший акустический эффект можно получить в точках, расположенных в зоне отраженного звука (далеко от источника), где звуковое поле полностью определяется плотностью энергии отраженных звуковых волн. В зоне, где преобладает прямой звук, т. е. вблизи от источника шума, акустический эффект звукопоглощающей обработки заметно снижается.

4.1.2. Акустический эффект звукопоглощающей обработки помещения в точках, удаленных от источников, в основном зависит от акустических характеристик помещения до обработки и акустических характеристик звукопоглощающих конструкций.

В зоне прямого звука этот эффект зависит также от расстояния расчетной точки до ближайших источников шума, от общего количества источников шума и от плотности размещения источников на технологической площади помещения.

4.2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ ОБЛИЦОВОК

4.2.1. Необходимость и целесообразность применения акустической обработки помещения, как правило, выявляют на основании предварительного акустического расчета.

4.2.2. Как обязательное мероприятие по снижению шума в помещениях акустическая обработка должна применяться: в цехах текстильной и трикотажной промышленности; в цехах искусственного волокна; в машинных залах вычислительных центров и машинно-счетных станций; в помещениях машинописных бюро; в коридорах и холлах школ, больниц, гостиниц, пансионатов и т. п.; в помещениях и залах ожидания аэровокзалов и железнодорожных вокзалов; в спортивных залах и плавательных бассейнах.

В производственных помещениях с источниками шума высокой интенсивности звукопоглощающие об-

лицовки и штучные звукопоглотители применяют в сочетании с другими известными мероприятиями по ограничению шума (планировочные мероприятия, звукоизолирующие кожухи, выгородки, экраны, глушители и т. п.).

4.2.3. Звукопоглощающие облицовки, как правило, размещают на потолке и верхних частях стен помещения. Для достижения максимально возможного поглощения рекомендуется облицовывать не менее 60% общей площади ограничивающих помещение поверхностей.

В относительно низких (менее 6 м) и протяженных помещениях облицовки рекомендуется размещать на потолке. В узких и очень высоких помещениях целесообразно размещать акустическую облицовку на стенах, оставляя только их нижние части (2 м высоты) необлицованными. В помещениях высотой более 6 м следует предусматривать (когда это возможно) устройство звукопоглощающего подвесного потолка.

Если стены помещения или перекрытие запроектированы светопрозрачными и площадь свободных поверхностей, пригодных для размещения звукопоглощающей облицовки, мала, рекомендуется применять облицовочные щиты в виде кукис (см. рис. 4.3) или дополнительно применять штучные звукопоглотители. Штучные поглотители рекомендуется подвешивать как можно ближе к источникам шума.

4.3. АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОМЕЩЕНИЙ

4.3.1. Акустическими характеристиками помещения являются: постоянная помещения B , m^2 , эквивалентная площадь звукопоглощения A , m^2 и средний коэффициент звукопоглощения $\bar{\alpha}$.

4.3.2. Постоянная помещения B характеризует его полное звукопоглощение и определяется эквивалентной площадью звукопоглощения помещения A и средним коэффициентом звукопоглощения $\bar{\alpha}$.

Расчеты, позволяющие вычислять эквивалентную площадь звукопоглощения, весьма трудоемки и не вполне совпадают с характеристиками, определяемыми экспериментально. Поэтому принято определять все характеристики, полагая постоянную помещения определенной величиной, полученной экспериментально на основании обобщения результатов измерений во многих помещениях.

Постоянную помещения B акустически необработанных помещений следует определять по графику рис. 2.3 и табл. 2.6 и 2.7.

По найденной постоянной помещения B для каждой октавной полосы вычисляют эквивалентную площадь звукопоглощения

$$A = \frac{BS}{B+S} = \frac{B}{B/S+1} m^2 \quad (4.1)$$

* Эти рекомендации не распространяются на помещения специального назначения, такие, как студии для записи и воспроизведения музыки и речи, радио- и телестудии, кино- и концертные залы, залы универсального назначения и т. п.

(где S — общая суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения, м^2)
и средний коэффициент звукопоглощения

$$\bar{\alpha} = \frac{B}{B + S} \quad (4.2)$$

4.3.3. Целесообразность применения звукопоглощающих облицовок в помещении для снижения уровня шума выявляют ориентировочно. Принято считать целесообразной акустическую обработку помещений в тех случаях, когда до ее применения средний коэффициент звукопоглощения $\bar{\alpha}$ в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц не превышает 0,25.

4.4. РАСЧЕТ И ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ ОБЛИЦОВКИ

4.4.1. Конструкцию звукопоглощающей облицовки, как правило, следует выбирать по результатам предварительного расчета в зависимости от типа помещения, установленного в нем оборудования и расположения расчетных точек по отношению к шумящему оборудованию. Материалы для звукопоглощающих облицовок выбирают в соответствии с рекомендациями гл. 8.

4.4.2. Для помещений общественного назначения и производственных помещений с односторонним оборудованием, когда известен усредненный спектр звукового давления (машиннописные бюро, цехи текстильной промышленности и др.), а также для помещений без собственных источников шума, конструкции звукопоглощающей облицовки допускается выбирать без предварительного расчета. При этом по таблицам акустических характеристик звукопоглощающих облицовок (см. п. 8.5) подбирают конструкцию облицовки, у которой частотная характеристика реверберационного коэффициента звукопоглощения по возможности идентична усредненной частотной характеристике (спектру) звукового давления в рассматриваемом помещении и не имеет завала в области высоких частот.

4.4.3. Величины снижения уровня звукового давления для случаев, перечисленных в п. 4.4.2, могут быть определены только в зоне отраженного поля, когда расстояние от расчетной точки до ближайшего источника $r_{\text{тип}} \geq r_{\text{пр}}$, а $r_{\text{пр}}$ определяется по формуле (1.16). Тогда расчет производят по формуле

$$\Delta L = 10 \lg B_1 / B \quad (4.3)$$

где B — постоянная помещения до его акустической обработки, определяемая в соответствии с п. 4.3.2, м^2 ; B_1 — постоянная помещения после его акустической обработки, м^2 .

Постоянную помещения B_1 в акустически обработанном помещении определяют по формуле

$$B_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{(1 - \bar{\alpha}_1)} \text{ м}^2, \quad (4.4)$$

где $A_1 = \bar{\alpha} (S - S_{\text{обл}})$ — эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностями, не занятыми звукопоглощающей облицовкой; $\bar{\alpha}$ — средний коэффициент звукопоглощения в помещении до его акустической обработки, определяется по формуле (4.2); $\bar{\alpha}_1$ — средний

коэффициент звукопоглощения акустически обработанного помещения, определяемый соотношением

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{S}; \quad (4.5)$$

ΔA — величина суммарного добавочного поглощения, вносимого конструкцией звукопоглощающей облицовки или штучными поглотителями.

$$\Delta A = \alpha_{\text{обл}} S_{\text{обл}} + A_{\text{шт}} n \text{ м}^2, \quad (4.6)$$

где $\alpha_{\text{обл}}$ — реверберационный коэффициент звукопоглощения конструкции облицовки; $S_{\text{обл}}$ — площадь этой конструкции, м^2 ; $A_{\text{шт}}$ — эквивалентная площадь звукопоглощения одного штучного звукопоглотителя, м^2 ; n — количество штучных звукопоглотителей в помещении; S — общая суммарная площадь ограничивающих помещение поверхностей, м^2 .

Пример (1) расчета величины ΔL дан в конце главы.

4.4.4. Для производственных помещений с источниками шума, шумовые характеристики которых известны (заданы), акустическую обработку следует проектировать на основании предварительного определения требуемого снижения уровня шума $\Delta L_{\text{треб}}$ в каждой октавной полосе в соответствии с указаниями п. 2.5.7 по формуле (2.26).

Уровни звукового давления, создаваемого всеми источниками шума в расчетной точке, и соответствующие им величины требуемого снижения уровней звукового давления следует определять как на рабочих местах, так и в точках, удаленных от шумящих машин и агрегатов на расстоянии, превышающего предельного радиуса $r_{\text{пр}}$, определяемого по формуле (1.16). При этом ожидаемые уровни звукового давления на рабочих местах следует определять по формулам, приведенным в пп. 2.4.11—2.4.12, а в удаленных точках — по формуле (4.3).

После определения $\Delta L_{\text{треб}}$ по табл. 8.4 выбирают конструкцию облицовки, у которой частотная характеристика реверберационного коэффициента звукопоглощения $\alpha(f)$ соответствует частотной характеристике $\Delta L_{\text{треб}}$ и не имеет завала в области высоких частот. Таким же образом выбирают и штучные звукопоглотители (по табл. 8.5). Площадь облицовки и количество штучных поглотителей должны быть возможно большими.

4.4.5. Величина снижения уровня звукового давления ΔL на рабочих местах производственных помещений при акустической обработке этих помещений зависит от соотношения между прямым звуком, приходящим непосредственно от источника шума, и звуком отраженным; величина эта оказывается меньшей, чем при расчетах по формуле (4.3). В данном случае для вычисления величины ΔL может служить формула

$$\Delta L = L - L_{\text{обл}} = 10 \lg \times \left(\sum_{i=1}^m \frac{x_i \Delta_i}{S_i} + \frac{4}{B} \sum_{i=1}^n \Delta_i \right) \times \left(\sum_{i=1}^m \frac{x_i \Delta_i}{S_i} + \frac{4}{B_1} \sum_{i=1}^n \Delta_i \right) \quad (4.7)$$

где L — уровень звукового давления в расчетной точке до акустической обработки, дБ;

$L_{\text{обл}}$ — уровень звукового давления в той же точке после акустической обработки, дБ;

x_i — определяется по графику рис. 2.13;

$\Delta_i = 10^{0,1 L_{p_i}}$ — определяется по табл. 2.8;

L_{p_i} — уровень звуковой мощности i -го источника шума, дБ;

S_i — площадь воображаемой поверхности, m^2 , окружающей i -ый источник шума и проходящей через расчетную точку (для небольших источников, у которых максимальный размер $l_{max} \leq 2l_{max}$ удовлетворяет соотношению $2l_{max} < r_i$ $S_i \approx 2\pi r_i^2$, где r_i — расстояние от акустического центра i -го источника до расчетной точки, м);

m — количество источников шума, расположенных вблизи от расчетной точки (т. е. источников, для которых $r_i \leq 4r_{min}$, где r_{min} — расстояние от расчетной точки до акустического центра ближайшего источника);

n — общее количество источников шума в помещении;

В и B_1 — постоянные помещения до и после его акустической обработки; В определяют по графику рис. 2.3 и по табл. 2.6, 2.7; B_1 — по формулам (4.4)–(4.6).

Если в помещении установлено оборудование, излучающее одинаковую звуковую мощность, снижение уровня шума благодаря акустической обработке определяют по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^m \frac{x_i}{S_i} + \frac{4n}{B}}{\sum_{i=1}^m \frac{x_i}{S_i} + \frac{4n}{B_1}} \text{ дБ}, \quad (4.8)$$

где обозначения те же, что в формуле (4.7).

4.4.6. Необходимое снижение шума в зоне отраженного звука может быть достигнуто акустической обработкой помещения при величинах $\Delta L_{тр}$, не превышающих 10–12 дБ в области средних частот, а на рабочих местах (в зоне прямого звука) при $\Delta L_{тр}$ не более 4–5 дБ. При $\Delta L_{тр}$, больших указанных величин, акустическую облицовку поверхностей следует производить только в сочетании с другими мероприятиями по снижению шума (см. п. 2.6). В таких случаях расчет ожидаемого уровня звукового давления в расчетной точке после осуществления возможных мероприятий следует повторить и затем вновь определить $\Delta L_{тр}$.

Пример (2) расчета для пп. 4.4.4 и 4.4.5 дан в конце главы.

4.4.7. Если расчетная точка расположена в зоне отраженного звука, т. е. на расстоянии от ближайшего источника шума большем чем $r_{пр}$ (см п. 4.4.3), а $\Delta L_{тр}$ не превышает 10–12 дБ, можно вычислить величину требуемого дополнительного звукопоглощения $\Delta A_{тр}$, обеспечивающего достижение необходимой величины снижения уровня звукового давления $\Delta L_{тр}$.

Величину $\Delta A_{тр}$ можно определить, пользуясь графиками рис. 4.1 и 4.2. Для этого по известным величинам среднего коэффициента звукопоглощения акустически необработанного помещения α и требуемого снижения уровня шума $\Delta L_{тр}$ по рис. 4.1 определяется величина k — коэффициент пропорциональности, связывающий $\Delta A_{тр}$ с площадью ограждающих поверхностей S

$$\Delta A_{тр} = kS \text{ м}^2. \quad (4.9)$$

С помощью графика рис. 4.2 по величине k и известной площади S определяют $\Delta A_{тр}$ для каждой октавной полосы. Далее, по виду частотной характеристики $\Delta A_{тр}(f)$ по табл. 8.4 подбирают идентичную ей характеристику реверберационного коэффициента зву-

копоглощения и соответствующую конструкцию облицовки.

Необходимую для обеспечения $\Delta A_{тр}$ площадь звукопоглощающей облицовки $S_{обл}$ определяют из соотношения

$$S_{обл} = \frac{\Delta A_{тр} \text{ м}^2}{\alpha_{окт}}, \quad (4.10)$$

где $\alpha_{окт}$ — реверберационный коэффициент звукопоглощения выбранной конструкции облицовки в данной октавной полосе частот.

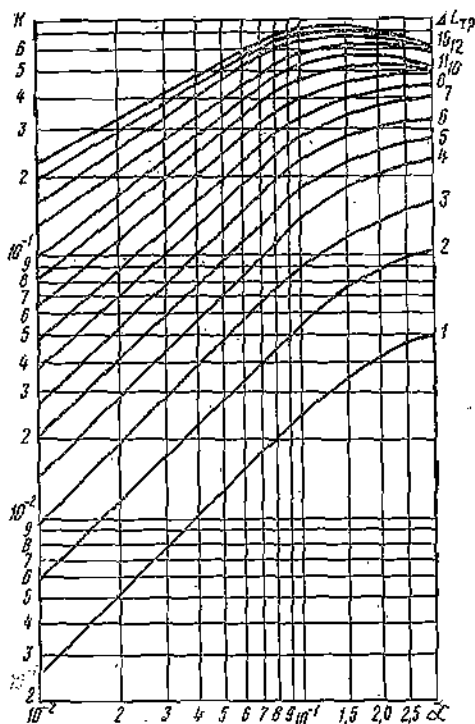


Рис. 4.1. Номограмма для определения коэффициента пропорциональности k по известным среднему коэффициенту звукопоглощения в необлицованном помещении α и требуемой величине снижения уровня звукового давления $\Delta L_{тр}$

Если определенная в результате расчета $S_{обл}$ окажется больше той площади, которую можно облицевать в данном помещении, то $S_{обл}$ принимают максимально возможной и дополнительно применяют штучные поглотители. Необходимое количество штучных звукопоглотителей определяют по формуле

$$n = \frac{\Delta A_{тр} - \alpha_{окт} S_{обл.окт}}{A_{шт.окт}}, \quad (4.11)$$

где $A_{шт.окт}$ — эквивалентная площадь звукопоглощения выбранного штучного звукопоглотителя в данной октавной полосе частот, m^2 .

Величину n выбирают наибольшей из полученных для каждой октавной полосы.

Для проверки величин ожидаемого снижения уровня звукового давления в расчетной точке может быть использована формула (4.3). Пример (3) расчета дан в конце главы.

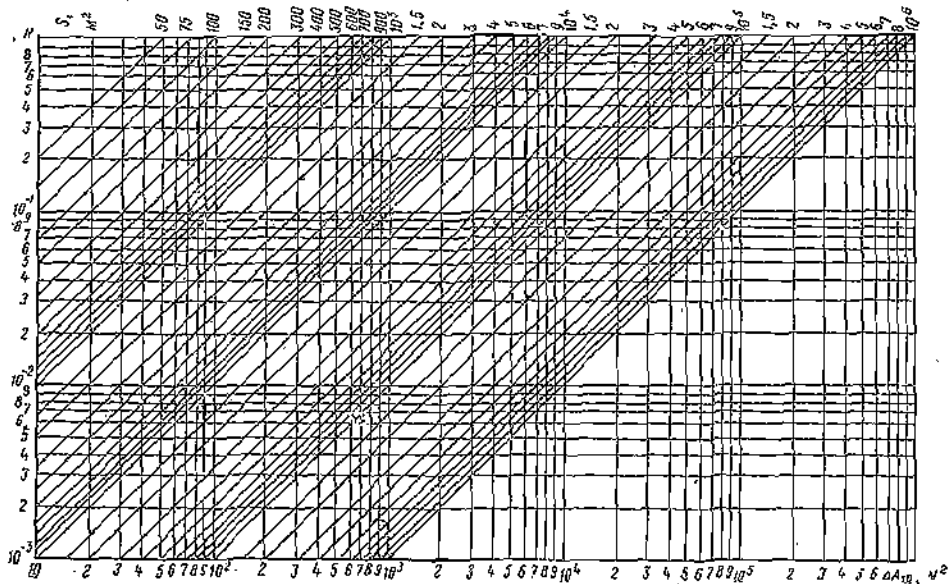


Рис. 4.2. Номограмма для определения $\Delta A_{\text{тр}}$ по известным коэффициенту k и площади поверхностей S

4.5. СНИЖЕНИЕ ШУМА ПРИ ПОМОЩИ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ

4.5.1. Одним из средств снижения шума в производственных помещениях с шумным технологическим оборудованием является применение акустических экранов, отгораживающих наиболее шумные агрегаты или участки от соседних рабочих мест или рабочие места от остальной части помещения.

Экран устанавливают между источником шума и расчетной точкой, что обеспечивает снижение уровня звукового давления прямого звука, излучаемого источником. Снижение уровня звукового давления прямого звука ($\Delta L_{\text{экр}}$) в расчетной точке, расположенной за экраном, называется акустической эффективностью экрана. Данные по эффективности экранов приведены в 4.5.5.

Звукоизолирующая способность стенки экрана должна быть не менее его ожидаемой акустической эффективности.

4.5.2. Акустические экраны целесообразно применять, когда в расчетной точке уровень звукового давления прямого звука от рассматриваемого источника существенно выше, чем уровень звукового давления, создаваемого в той же точке соседними источниками шума и отраженным звуком.

Для источников с примерно равномерным излучением шума уровень звукового давления прямого звука i -го источника шума в расчетной точке определяют по формуле

$$L_{\text{пр}i} = L_{P_i} - 20 \lg r_i - 8 \text{ дБ}, \quad (4.12)$$

где L_{P_i} — уровень звуковой мощности рассматриваемого источника шума, дБ; r_i — расстояние от акустического центра источника до расчетной точки, м.

Уровень звукового давления, создаваемого всей звуковой энергией в той же точке, определяют по формуле

$$L_{\text{отр}} = 10 \lg \frac{4}{B} \sum_{k=1}^n 10^{0,1 L_{P_k}}, \quad (4.13)$$

где L_{P_k} — уровень звуковой мощности k -го источника шума, дБ; n — общее число принимаемых в расчет источников шума; B — постоянная помещения, м²; определяется по п. 2.4.5.

Из формулы (4.13) ясно, что в акустически необработанных помещениях, где постоянная B мала, применение экранов будет малоэффективно. Поэтому

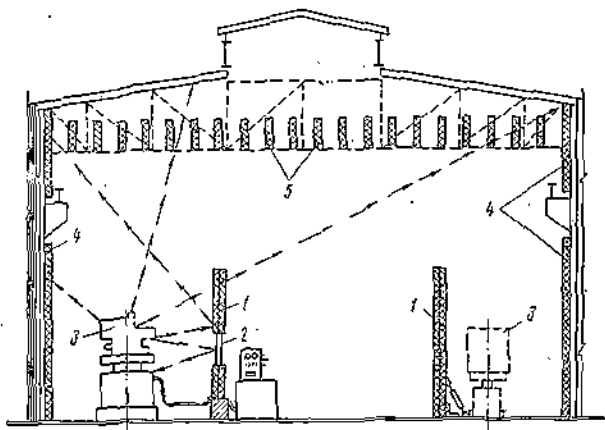


Рис. 4.3. Применение акустических экранов в сочетании с акустической обработкой помещения

1 — акустический экран со звукопоглощающей облицовкой; 2 — смотровое окно; 3 — источник шума; 4 — звукопоглощающая облицовка; 5 — звукопоглощающий материал в межферменном пространстве

акустические экраны должны применяться в сочетании с акустической обработкой помещения (рис. 4.3). При определении постоянной помещения с акустической обработкой следует учитывать звукопоглощение, вносимое экранами, которые всегда облицовываются звукопоглощающим материалом. Дополнительное зву-

коэффициент, вносимое экранами, определяют по формуле

$$A_{\text{эк}} = \alpha_{\text{эк}} \sum_{j=1}^m S_{j\text{эк}} \quad (4.14)$$

где $\alpha_{\text{эк}}$ — реверберационный коэффициент звукопоглощения облицовки экрана; определяется по табл. 8.4; $S_{j\text{эк}}$ — площадь экрана, м^2 (при двухсторонней облицовке $S_{j\text{эк}}$ удваивается); m — общее количество экранов, установленных в помещении.

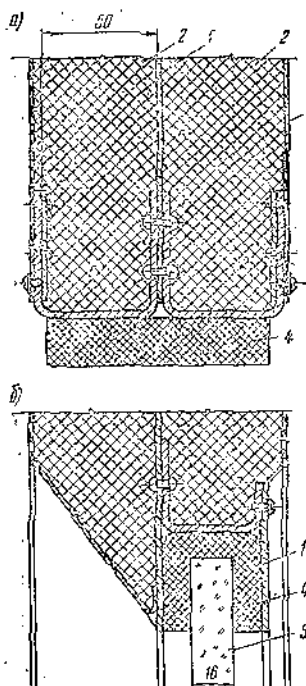


Рис. 4.4. Конструкции акустических экранов

а — сплошной; б — со смотровым окном; 1 — металлический лист; 2 — звукопоглотитель; 3 — перфорированная оболочка; 4 — резиновая прокладка; 5 — органическое стекло

4.5.3. Экраны могут быть изготовлены из стальных или алюминиевых листов толщиной 1,5—2 мм. По периметру листов предусматривается профиль, придающий жесткость конструкции и представляющий собой опору для крепления перфорированного листа, закрывающего звукопоглощающий материал, толщиной около 50 мм (рис. 4.4).

В некоторых случаях применяют передвижные экраны. Зазор между полом и экраном в таких конструкциях должен быть минимальным.

Для звукопоглощающей облицовки экранов применяют те же материалы, что и для помещений (см. гл. 8).

4.5.4. Снижение уровня звукового давления в расчетной точке в результате установки экрана определяют по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{10^{0,1 L_{\text{пр}}} + \frac{4}{B} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{pi}}}{10^{0,1 (L_{\text{пр}} - \Delta L_{\text{эк}})} + \frac{4}{B_1} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{pi}}} \quad \text{дБ}, \quad (4.15)$$

где $L_{\text{пр}}$ — уровень звукового давления прямого звука от рассматриваемого источника в расчетной точке до установки экрана, дБ; определяется по формуле (4.12); L_{pi} — уровень звуковой мощности каждого источника в данном помещении, дБ; $\Delta L_{\text{эк}}$ — акустическая эффективность экрана, дБ; определяется по п. 4.5.5. или п. 4.5.6; B — постоянная помещения до установки экранов, определяемая по п. 2.4.3; B_1 — постоянная помещения после установки экранов, м^2 .

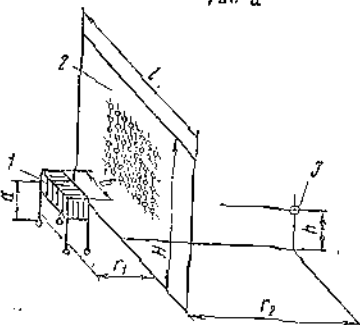
Постоянную B_1 определяют по формуле

$$B_1 = \frac{A_1 + \Delta A + A_{\text{эк}}}{(1 - \alpha_2)} \quad \text{м}^2, \quad (4.16)$$

$$\alpha_2 = \frac{A_1 + \Delta A + A_{\text{эк}}}{S}, \quad (4.17)$$

A_1 и ΔA — то же, что в формуле (4.4); $A_{\text{эк}}$ — эквивалентная площадь поглощения, вносимого экранами.

Тип а



Тип б

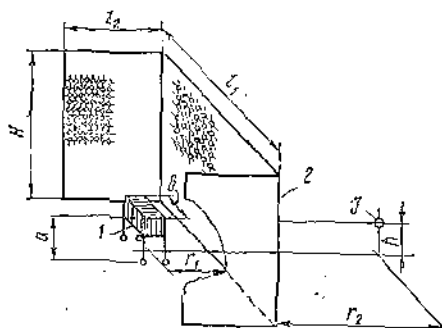


Рис. 4.5. Формы экранов и расположение точек прослушивания

1 — источник шума; 2 — экран; 3 — точка прослушивания

определяется по формуле (4.14); S — общая суммарная площадь ограничивающих помещение поверхностей.

Пример (4) расчета снижения шума в результате применения экрана дан в конце главы.

4.5.5. Акустическую эффективность экрана ΔL можно определить экспериментально в условиях свободного поля (в заглушенной камере или на открытом воздухе) или расчетом.

Экспериментальные значения эффективности различных типов экранов небольших размеров, изготовлен-

из стального листа толщиной 2 мм с односторонней обшивкой слоем звукопоглотителя толщиной 50 мм при различных соотношениях размеров экрана и местоположения точки прослушивания (рис. 4.5), приведенные в табл. 4.1 и 4.2. Эти данные справедливы при размерах источника $a \leq 0,5$ м и $b \leq 1$ м.

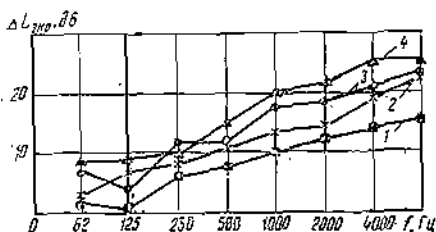


Рис. 4.6. Усредненные характеристики эффективности акустических экранов

Исследованиями было установлено, что эффективность экранов растет с увеличением отношения высоты экрана H к высоте источника шума a и ширины экрана к ширине источника шума b .

На рис. 4.6 приведены усредненные характеристики эффективности экранов $\Delta L_{\text{экp}}$ различного раз-

Таблица 4.1
Эффективность экранов типа а ($\Delta L_{\text{экp}}$, дБ) при $r_1 = 0,5$ м

Размеры экрана и координаты расчетной точки, м					Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
H	a	b	r_2		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1,4	1,2	1	1	2	0	0	5	7	8,5	9	11,5	15
			2	0	0	0	4	6	8	8,5	12	13,5
			3	0	0	0	3,5	5,5	6,5	8	11	13
1,4	1,2	1,5	1	2	0	0,5	9	10	14	17	19	
			2	0,5	0,5	9,5	8,5	10	12	15,5	18,5	
			3	1,5	1	9,5	8	9,5	11,5	15	17	
1,4	1,2	2	1	3	7	10	13	14	16	21	23	
			2	3	7	8,5	11,5	12,5	15	19	22	
			3	1,5	5	5,5	7,5	13	13	17	22	
1,4	1,2	3,5	1	5	8	9	14,5	17,5	18,5	22	23	
			2	4,5	5,5	10	12	16,5	17,5	22	23,5	
			3	6	9	9,5	14	15	19,5	22		
1,4	1,2	5	1	8	11	13	16	21,5	24	26	27	
			2	8	10	9,5	13	20	23	24	27	
			3	6	10	7	12	15,5	22	23,5	25	
1,5	0,75	1,75	1	2	1	0	6	10	10,5	12	14	16
			2	1	0	5,5	7,5	10,5	12	14	15,5	
			3	1,5	-0,5	7	5,5	8,5	12	13,5	15	
1,5	0,75	2,4	1	4	0,5	5	11,5	16	15,5	20	22	
			2	4,5	0,5	4	9,5	14	15	20	22	
			3	4	1	5,5	10	12	16	17,5	20	
1,5	0,75	3,25	1	6	6	9	14	17	16	19	21	
			2	3,5	3	7,5	9	14	15,5	19	20	
			3	5,5	1,5	8,5	9	11,5	15	18	20	
1,5	0,75	4,75	1	6,5	6,5	10	12	16	20	22	24	
			2	6,5	3	11	12	16,5	17	20,5	23,5	
			3	6,5	0,5	12	12,5	14,5	16,5	20,5	22,5	
1,5	0,5	2,4	1	3	0	3,5	9	9,5	11,5	14	17	
			2	2	0	3	10	9	10	13	15,5	
			3	1,5	0	0	10	8,5	10	13,5	14	
1,5	1	2,4	1	4	5	10	12,5	14,5	13,5	19,5	23	
			2	4	4	8	10,5	14,5	16,5	18,5	22	
			3	4	3,5	7,5	9,5	12,5	15,5	18,5	20,5	

Таблица 4.2

Эффективность экранов типа б ($\Delta L_{\text{экp}}$, дБ) при $r_1 = 0,5$ м

Размеры экрана и координаты расчетной точки, м				Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц								
H	t_1	t_2	n	r_2	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1,5	0,75	1,5	0,75	1	8,5	6,5	13	14,5	19	19,5	24	25
				2	9	4	11	11,5	18,5	17	21,5	22,5
				3	7	2,5	13,5	11,5	18,5	17	19	21,5
1,5	0,75	1,5	1	1	6,5	7	12	15	18	18	22,5	22,5
				2	7	5	9	13,5	17	17	21	21
				3	7	3,5	9,5	10	16	16,5	20	20
2,4	2	1,5	2,2	1	6	7,5	10,5	17,5	21,5	22,6	27	26,5
				2	8	7	9,5	17	21	19,5	25,5	25
				3	4	7	9	15	20	20,5	24,5	24

мера в точках, расположенных не далее 3 м от экрана при $H/h \geq 2$. Кривые 1 и 2 соответствуют значениям $H/b = 1,75$ и $4,5$ при $H/a = 2,5$, кривые 3 и 4 — значениям $H/b = 2$ и 5 при $H/a = 5$.

Этими данными можно пользоваться при определении эффективности экранов с параметрами, отличающимися от приведенных в табл. 4.1 и 4.2.

Интересны экраны П-образной формы, окружающие источник шума с трех сторон. Эффективность такого экрана близка к эффективности плоского экрана при условии, если приведенная ширина П-образного экрана равна ширине плоского экрана ($l_1 + 2l_2 = b$), а высота их одинакова.

4.5.6. Эффективность экрана $\Delta L_{\text{экp}}$ может быть определена расчетом. Существует теоретический метод расчета эффективности экранов, разработанный на основе оптико-дифракционного представления картины звукового поля в зоне акустической тени за экраном.

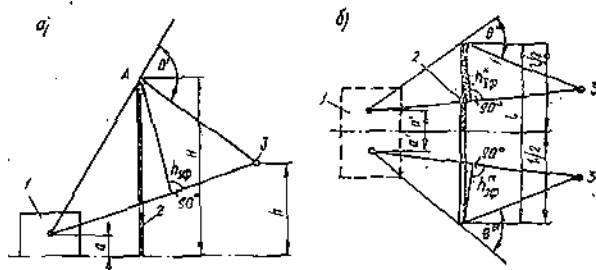


Рис. 4.7. Расчетная схема для определения эффективности экрана конечных размеров

1 — источник шума; 2 — экран; 3 — точка прослушивания

Этот метод справедлив при определенных ограничениях: источник является точечным, а экран бесконечно жестким и бесконечно широким. Последнее ограничение обычно не выполняется, что приводит к значительному завышению расчетных данных по сравнению с экспериментальными величинами эффективности экранов. Ошибка получается тем больше, чем меньше ширина экрана. Однако если учесть дифракцию звуковых волн через боковые границы экрана в область звуковой тени за экраном, можно достаточно точно рассчитать эффективность экрана конечных размеров.

Рассечем мысленно источник шума и экран плоскостью, перпендикулярной плоскости экрана, и рассмотрим картину в плане (рис. 4.7, б). В точку наблюдения будет проникать шум через основной экран высотой H (рис. 4.7, а) и через два вспомогательных экрана каждой высотой $H/2$ (рис. 4.7, б). По этим ри-

сункам определяют угол звуковой тени θ в эффективную высоту экрана $h'_{эф}$; обозначим их θ' и $h'_{эф}$ для основного экрана и θ'' , $h''_{эф}$ и θ''' , $h'''_{эф}$ для двух вспомогательных экранов. Затем по графику на рис. 4.8 определяются значения $\Delta L'_{экp}$, $\Delta L''_{экp}$ и $\Delta L'''_{экp}$ соответ-

ственно для значений θ' и $\frac{h'_{эф}}{\lambda}$, θ'' и $\frac{h''_{эф}}{\lambda}$, θ''' и $\frac{h'''_{эф}}{\lambda}$

(λ — длина звуковой волны в воздухе).

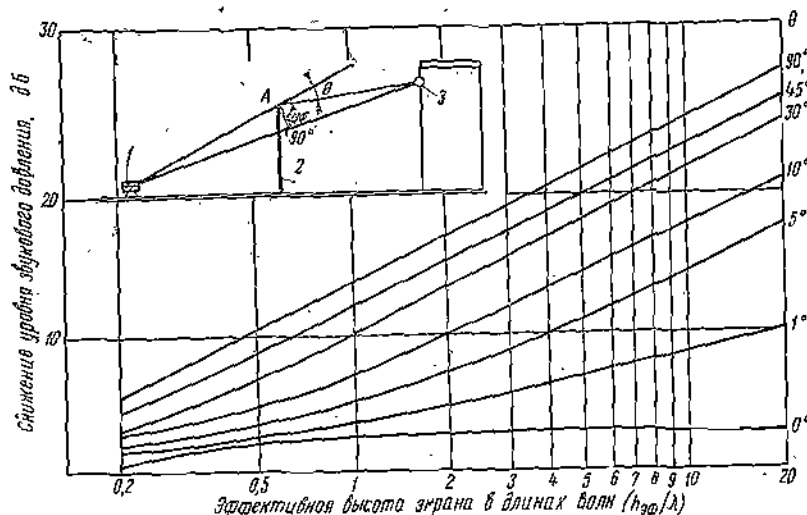


Рис. 4.8. График для определения эффективности экранов

1 — источник шума; 2 — экран; 3 — точка прослушивания; θ — угол звуковой тени

Эффективность реального экрана конечной высоты и конечной ширины будет определяться формулой

$$\Delta L_{экp} = 10 \lg \frac{1}{10^{-0,1 \Delta L'_{экp}} + 10^{-0,1 (\Delta L''_{экp} + 3)} + 10^{-0,1 (\Delta L'''_{экp} + 3)}} \quad (4.18)$$

Значения длины волны для различных частот звука при пользовании графиком рис. 4.8 принимаются по табл. 7.13.

4.6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Задание. Помещение ткацкого цеха в плане представляет собой правильный прямоугольник длиной 55 м и шириной 20 м. Высота помещения 3,5 м. Объем цеха 3850 м³, площади ограждающих поверхностей: стен 525 м², потолка 1100 м², пола 1100 м² (общая площадь 2725 м²).

В цехе установлено 20 станков, занимающих 1/3 площади. В остальной части цеха размещены вспомогательные службы, связанные с маломощными процессами. В расчетной точке, удаленной от ближайших станков на 10 м, задан усредненный спектр звукового давления, приведенный в табл. 4.3. Расчетная точка находится на расстоянии $r > r_{пр}$ от ближайшего станка, т. е. в зоне отраженного поля ($r_{пр} \approx 9,2$ м).

Необходимо выбрать конструкцию звукопоглощающей облицовки и определить снижение уровня звукового давления.

Решение. Анализ представленного спектра уровня звукового давления (табл. 4.3) показал, что конструкция звукопоглощающей облицовки должна иметь высокий коэффициент звукопоглощения в области частот 250—8000 Гц. Поэтому для облицовки цеха может быть выбрана, например, конструкция, показанная в табл. 8.4 (п. 22). Найдем по п. 2.4.4 постоянную Q для помещения объемом 3850 м³ и по формуле (4.3) определим величину ожидаемого снижения уровня

звукового давления в этой точке благодаря облицовке потолка ($S_{обл} = 1100$ м²). Расчет сводим в табл. 4.4.

Пример 2. Задание. В цехе установлено 80 станков, различающихся по излучаемой звуковой мощности. По этому признаку их можно разделить на три группы, для каждой из которых задан спектр мощности (по техническому паспорту). Для первой группы из 20 станков — L_{p1} , для второй из 30 — L_{p2} , для третьей из 30 — L_{p3} . Соответствующие уровни звуковой мощности, дБ, приведены в табл. 4.5. Цех имеет те же размеры, что в примере 1.

Таблица 4.4

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000
Уровень звукового давления, дБ	88	88	90	92	96	91	87

Станки размещены в четыре ряда с расстоянием (вдоль ряда) между их акустическими центрами $b = 2,5$ м. Максимальный размер станка ($l_{max} = 0,85$ м, а расстояние между рядами (между акустическими центрами) 5 м. Расчетная точка (рабочее место) находится во втором ряду на одинаковом расстоянии от краев станка и на расстоянии $r_{мн} = 0,75$ от его акустического центра (рис. 4.9).

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
B_{1000}	м²	Рис. 2.3 Табл. 2.7	—	—	—	—	350	—	—	—
μ	—	2.6	0,5	0,5	0,65	0,7	1	1,6	3	6
$B = \mu B_{1000}$	м²	П. 2.4.5	175	175	192	254	350	560	1050	2100
S	»	—	2725	2725	2725	2725	2725	2725	2725	2725
B/S	—	—	0,06	0,06	0,07	0,09	0,13	0,2	0,39	0,77
$B/S + 1$	—	—	1,06	1,06	1,07	1,09	1,13	1,2	1,39	1,77
Δ	м²	Ф-ла (4.1)	165	165	180	233	310	468	757	1190
$\alpha_{обл}$	—	» (4.2)	0,06	0,06	0,066	0,085	0,118	0,171	0,278	0,436
$\Delta A (S_{обл} = 1100 \text{ м}^2)$	м²	Табл. 8.4 (п. 22)	(0,05)	0,32	0,76	1	0,95	0,9	0,98	10,961
$A_1 (S = 2725 \text{ м}^2)$	»	Ф-ла (4.6)	55	352	836	1100	1045	990	1078	1045
$A_1 + \Delta A$	»	» (4.4)	98	98	107	138	192	278	452	710
α_1	—	—	153	450	943	1238	1237	1268	1530	1855
$1 - \alpha_1$	—	Ф-ла (4.5)	0,06	0,17	0,35	0,45	0,45	0,46	0,56	0,68
B_1	—	—	0,94	0,83	0,65	0,55	0,55	0,54	0,44	0,32
B_1/B	м²	Ф-ла (4.4)	175	542	1450	2260	2260	2350	3480	5800
ΔL	дБ	Ф-ла (4.3)	1	2,98	7,55	8,9	6,45	4,2	3,3	2,76
			—	4,4	8,8	9,5	8,1	6,2	5,2	4,4

Необходимо определить ожидаемое снижение уровня звукового давления на рабочих местах после акустической обработки поверхностей помещения.

Решение. Величина снижения уровня шума на рабочем месте вычисляется по формуле (4.7). Для ближайшего к расчетной точке станка $2L_{\max} = 1,7 \text{ м} >$

8.4, п. 22 (см. предыдущий пример). При расчете учитывается прямой звук только от ближайших двух станков, для одного из которых ($r_1 = 0,75 \text{ м}$) звуковая мощность равна L_{P_1} , а для другого ($r_3 = 1,75 \text{ м}$) — L_{P_3} . Расчет сводим в табл. 4.6.

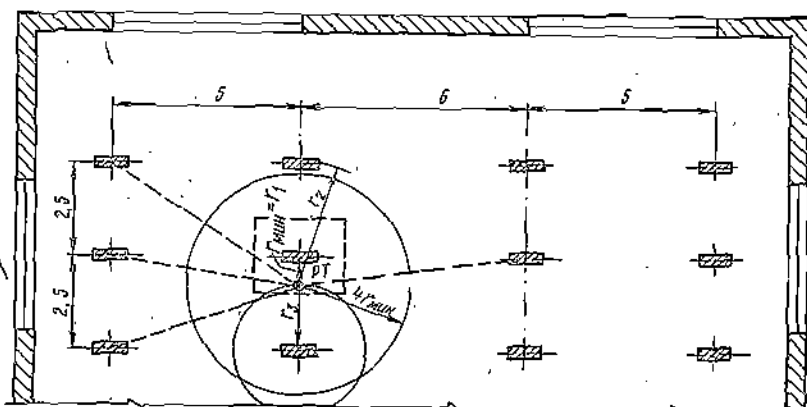


Рис. 4.9. Схема размещения источников шума ИШ и расчетной точки РТ (к примеру 2)

r_1, r_2, r_3 — расстояния от расчетной точки до акустических центров источников шума (размеры в м)

$> r_{\min} = 0,75 \text{ м}$. Для этого станка необходимо вычислить площадь поверхности, проходящей через расчетную точку, S_1 . Примем эту поверхность в форме полуцилиндра с радиусом $r = 0,75 \text{ м}$, высотой $h = 2 \text{ м}$. Тогда $S_1 = \pi r^2 + \pi r h = 6,5 \text{ м}^2$. Для остальных станков выполняется соотношение $2L_{\max} < r_i$, следовательно, площади S_i можно определять по формуле $S_i = 2\pi r_i^2$.

Расстояния до ближайших станков равны: $r_1 = r_{\min} = 0,75 \text{ м}$, $r_2 = 3,25$ и $r_3 = 1,75 \text{ м}$. В расчет принимаем станки, для которых выполняется условие $r_i < 4r_{\min}$. Так как $4r_{\min} = 3 \text{ м}$, шум станка, расположенного на расстоянии $r_2 = 3,25 \text{ м}$, не учитываем. В формуле (4.7) $m = 2$. Параметры α_i определяем по рис. 2.13 ($\alpha_1 \approx 3$; $\alpha_3 \approx 1$) $S_3 = 2\pi r_3^2 = 19,2 \text{ м}^2$.

Определим ΔL последовательным вычислением всех членов формулы (4.7), принимая во внимание, что в помещении цеха (на потолке) установлена звукопоглощающая облицовка конструкции, показанной в табл.

Таким образом, в расчетных точках на рабочих местах величины ожидаемого снижения уровня шума получались заметно меньшими, чем для зоны отраженного поля (см. последнюю строку табл. 4.4).

В тех случаях когда все n источников характеризуются одинаковой звуковой мощностью, расчеты упрощаются. Пусть в рассмотренном примере все 80 ис-

Таблица 4.6

Величина	Единица измерения	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_{P_1}	дБ	97	97	99	101	102	101	97	94
L_{P_2}	»	93	94	97	104	104	93	92	90
L_{P_3}	»	87	88	93	95	97	100	100	98

№ п.п.	Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	B	$м^2$	Табл. 4.4	175	175	192	254	350	580	1050	2100
2	B_1	$м^2$	То же	175	542	1450	2260	2260	2350	3480	5800
3	$4/B$	—	—	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$0,4 \cdot 10^{-2}$	$0,2 \cdot 10^{-2}$
4	$4/B_1$	—	—	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^{-3}$
5	L_{P_1}	—	Табл. 4.5	97	97	99	101	102	101	97	94
6	$\Delta_1 = 10^{0,1 L_{P_1}}$	$дБ$	$\approx 2,8$	$5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$8 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$
7	L_{P_2}	—	$\approx 4,5$	93	94	97	104	104	93	92	90
8	$\Delta_2 = 10^{0,1 L_{P_2}}$	$дБ$	$\approx 2,8$	$2 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$
9	L_{P_3}	—	$\approx 4,5$	87	88	93	95	97	100	100	98
10	$\Delta_3 = 10^{0,1 L_{P_3}}$	$дБ$	$\approx 2,8$	$5 \cdot 10^2$	$6,5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^3$
11	$30\Delta_1$	—	—	$1 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$2,6 \cdot 10^{11}$	$3,2 \cdot 10^{11}$	$2 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^{10}$
12	$30\Delta_2$	—	—	$6 \cdot 10^{10}$	$7,5 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$7,5 \cdot 10^{11}$	$7,5 \cdot 10^{11}$	$6 \cdot 10^{11}$	$4,8 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{11}$
13	$30\Delta_3$	—	—	$1,5 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^{10}$	$6 \cdot 10^{10}$	$9,6 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{11}$
14	Сумма	—	П. 11 + + п. 12 + + п. 13	$1,8 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{11}$	$3,7 \cdot 10^{11}$	$1,1 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$5,6 \cdot 10^{11}$	$4,5 \cdot 10^{11}$	$2,7 \cdot 10^{11}$
15	$4/B$ (п. 14)	—	—	$4,3 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^2$	$7,8 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	$0,6 \cdot 10^2$
16	$4/B_1$ (п. 14)	—	—	$4,1 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^2$	$0,9 \cdot 10^2$	$0,7 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^2$
17	S_1	$м^2$	—	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
18	$\Delta_1 \kappa_1 / S_1$ ($\kappa_1 = 3$)	—	—	$2,3 \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^2$	$3,7 \cdot 10^2$	$6,8 \cdot 10^2$	$7,4 \cdot 10^2$	$4,6 \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$
19	$S_2 = 2\pi r_3^2$	$м^2$	—	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
20	$\Delta_2 \kappa_2 / S_2$ ($\kappa_2 = 1$)	—	—	$1 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$	$0,8 \cdot 10^2$	$0,5 \cdot 10^2$
21	Сумма	—	П. 18 + п. 20	$2,4 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^2$	$7,5 \cdot 10^2$	$4,7 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$
22	Δ_3	—	П. 15 + п. 21	$6,7 \cdot 10^2$	$6,7 \cdot 10^2$	$11,8 \cdot 10^2$	$24,6 \cdot 10^2$	$21,5 \cdot 10^2$	$8,7 \cdot 10^2$	$3,5 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^2$
23	Δ	—	П. 16 + п. 21	$6,5 \cdot 10^2$	$3,7 \cdot 10^2$	$5,1 \cdot 10^2$	$8,6 \cdot 10^2$	$9,8 \cdot 10^2$	$5,6 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$
24	$\Delta L = 10 \lg \frac{(п. 22)}{(п. 23)}$	$дБ$	Ф-ла (4.7)	0,2	2,5	3,6	4,6	3,4	1,9	0,5	1,4

Таблица 4.7

№ п.п.	Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	κ_1 / S_1 ($\kappa_1 = 3$)	—	—	0,16	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
2	κ_2 / S_2 ($\kappa_2 = 1$)	—	—	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
3	$\kappa_3 / S_3 + \kappa_1 / S_1$	—	П. 1 + п. 2	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
4	B	$м^2$	Табл. 4.4	175	175	192	254	350	580	1050	2100
5	$4 \times 80/B$	$м^2$	—	1,83	1,83	1,67	1,26	0,92	0,57	0,3	0,15
6	B_1	$м^2$	Табл. 4.4	175	542	1450	2260	2260	2350	3480	5800
7	$4 \times 80/B_1$	—	—	1,83	0,61	0,22	0,14	0,14	0,14	0,09	0,06
8	Сумма	—	П. 3 + п. 5	2,34	2,34	2,18	1,77	1,42	1,08	0,81	0,63
9	Δ	—	П. 3 + п. 7	2,34	1,12	0,73	0,66	0,65	0,65	0,6	0,57
10	ΔL	$дБ$	Ф-ла (4.8)	—	3,2	4,8	4,3	3,4	2,2	1,3	0,4

точников имеют мощность L_{P_1} . Тогда величины снижения уровня шума ΔL можно определять по формуле (4.8).

Расчет ΔL при той же площади облицовки, как и в 1-й части примера 2, приведен в табл. 4.7, где $\kappa_1 = 3$, $\kappa_2 = 1$, $a S_1 = 6,5 \text{ м}^2$, $S_2 = 19,2 \text{ м}^2$.

Пример 3. Задание. В помещении лаборатории площадью $10 \times 20 \text{ м}^2$, высотой 5 м и объемом 1000 м^3 на полу установлен источник шума (вибростенд) с заданной акустической мощностью L_P , приведенной в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звуковой мощности, дБ	94	96	100	106	108	108	99	94

Общая площадь ограждающих поверхностей $S = 700 \text{ м}^2$.

Необходимо определить величину дополнительного поглощения $\Delta A_{\text{тр}}$ для расчетной точки на расстоянии 6 м от стенда и выбрать конструкцию звукопоглотителя.

Решение. Вначале определим величину предельного радиуса по формуле (1.16). Для $V = 1000 \text{ м}^3$ находим постоянную помещения (категория 6, табл. 2.6). Определяем B_{1000} по графику рис. 2.3 (прямая с индексом 6). Далее по табл. 2.7 получаем $B_{8000} = 600 \text{ м}^2$. При этом $r_{\text{пр}} = 0,2 \sqrt{B_{8000}} = 4,9 \text{ м}$. Величину ожидаемого уровня звукового давления определяем по формуле (2.19), а затем по формуле (2.22) найдем $\Delta L_{\text{тр}}$. При определении $\Delta L_{\text{тр}}$ в качестве $L_{\text{доп}}$ принимаем кривую предельного спектра ПС-85 (табл. 2.3). Расчет сводим в табл. 4.9.

В зоне отраженного поля величины $\Delta L_{\text{тр}}$ таковы, что применение звукопоглощающей облицовки может

Таблица 4.9

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_p	дБ	Табл. 4.8	94	96	100	106	108	108	99	94
B_{1000}	м²	Рис. 2.3	—	—	—	—	100	—	—	—
μ	—	Табл. 2.6	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
$B = \mu B_{1000}$	м²	П. 2.4.5.	50	50	55	70	100	160	300	600
$\pi/2\pi r^2$ ($\pi=1$, $r=6$ м)	—	—	4×10^{-3}	4×10^{-3}	4×10^{-3}	4×10^{-3}	4×10^{-3}	4×10^{-3}	4×10^{-3}	4×10^{-3}
$4/B$	—	—	0,08	0,08	0,073	0,068	0,04	0,025	0,013	0,006
$\Sigma = 4/B + \pi/2\pi r^2$	—	—	0,084	0,084	0,077	0,062	0,044	0,029	0,017	0,01
$10 \lg \Sigma$	—	—	—11,8	—11,8	—11,1	—12,1	—13,6	—15,4	—17,7	—20
$L_{доп}$	дБ	Ф-ла (2.19)	82	84	89	94	94	93	81	74
$L_{тр}$	—	ПС-35	103	96	91	88	85	83	81	80
	—	Ф-ла (2.22)	—	—	—	6	9	10	—	—

Таблица 4.10

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
B	м²	Табл. 4.9	50	50	55	70	100	160	300	600
$B+S$	—	—	760	750	755	770	800	860	1000	1300
$\alpha = \frac{B}{B+S}$	—	Ф-ла (4.2)	0,07	0,07	0,07	0,09	0,13	0,19	0,3	0,46
k	—	Рис. 4.1	—	—	—	0,2	0,5	0,53	—	—
$\Delta A_{тр}$	м²	Рис. 4.2	—	—	—	140	350	360	—	—
$\alpha_{обл}$	—	Табл. 8.4 (п. 4)	—	—	—	0,85	0,95	1	—	—
$S_{обл}$	м²	Ф-ла (4.10)	—	—	—	164	367	360	—	—

обеспечить требуемое снижение уровня звукового давления. По графикам (рис. 4.1 и 4.2) найдем величину $\Delta A_{тр}$ дополнительного звукопоглощения. Величина $\Delta A_{тр}$ находится для октавных полос, в которых отмечается максимум в частотной характеристике $\Delta L_{тр}$. В данном случае это октавные полосы с час-

тотами 1000 и 2000 Гц. Ближайший источник находится на расстоянии 2 м от расчетной точки. Необходимо определить требуемое снижение шума в расчетной точке и добиться его снижения звукопоглощающими облицовками и акустическими экранами.

Решение. Рассчитаем требуемое снижение шума по формуле (2.26), определяя L по формуле (2.21), B по п. 2.4.5, а μ по рис. 2.13. Расчеты сводим в табл. 4.12. Полученные величины $\Delta L_{тр}$ больше 4–5 дБ, которые могут быть обеспечены применением звукопоглощающей облицовки. Поэтому применяем облицовку

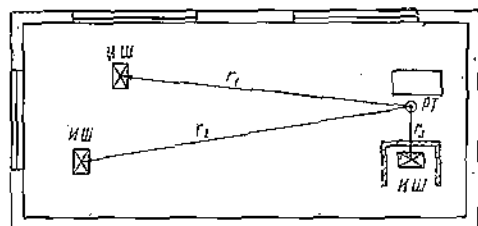


Рис. 4.10. Схема размещения источников шума ИШ и расчетной точки РТ (к примеру 4)

татами 1000 и 2000 Гц. Конструкцию облицовки выбираем по табл. 8.4 (п. 4) и определяем требуемую площадь облицовки. Весь расчет сводим в табл. 4.10.

Если облицовывать 200 м² потолка и верхние части стен ($2,6 \cdot 60 = 156$ м²), то общая площадь облицовки составит: $S_{обл} = 356$ м², что примерно соответствует требуемой величине площади облицовки.

Пример 4. Задание. В помещении (см. пример 3) размером 10 × 20 × 5 м установлены три источника шума с заданной акустической мощностью L_p (табл. 4.11).

Площадь ограждающих поверхностей помещения $S = 700$ м².

Источники шума размещены по схеме, показанной на рис. 4.10. Максимальный размер источника $l_{макс} =$

довку потолка той же конструкции, что в примере 3, и одновременно установку экрана типа 6 (табл. 4.2) у ближайшего к расчетной точке источника шума. При выборе экрана принимаем $h = 1,2$ м. Параметры экрана (рис. 4.5) $H = 2,4$ м, $l_1 = 2$ м, $l_2 = 1,5$ м, $r_1 = 0,5$ м, $r_2 = 1,5$ м.

Величины снижения уровня звукового давления в расчетной точке определяем по формуле (4.15). При этом B_1 определяем по формуле (4.16). Расчет сводим в табл. 4.13.

Расчет показывает, что применение экрана совместно с облицовкой потолка обеспечивает снижение уровня звукового давления ΔL в расчетной точке больше требуемого во всем диапазоне частот.

Таблица 4.11

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звуковой мощности, дБ	94	96	98	100	102	100	99	94

Таблица 4.12

№ п. п.	Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	L_p	дБ	Табл. 4.11	94	96	98	100	102	100	99	94
2	B	м²	» 4.9	50	50	55	70	100	160	300	600
3	$\kappa_1/2\pi r_1^2$ ($\kappa_1=1$)	—	Рис. 4.10	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
4	$\kappa_2/2\pi r_2^2$ ($\kappa_2=1$)	—	То же	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
5	$\kappa_3/2\pi r_3^2$ ($\kappa_3=1$)	—	»	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$
6	$4.3/B$	—	—	0,24	0,24	0,22	0,17	0,12	0,08	0,04	0,02
7	Σ	—	П. 3+п. 4+ +п. 5+п. 6	0,282	0,282	0,262	0,212	0,162	0,122	0,082	0,062
8	$10 \lg \Sigma$	—	—	-5,5	-5,5	-5,9	-6,8	-8	-9,2	-10,9	-12
9	L	—	Ф-ла (2.21)	89,5	90,6	92,1	93,2	94	90,8	88,1	82
10	$L_{доп}$ (ПС-85)	дБ	Табл. 2.3	103	96	91	88	85	83	81	80
11	$\Delta L_{тр}$	»	Ф-ла (2.26)	—	—	1,1	6,2	9	7,8	7,1	2

Таблица 4.13

№ п. п.	Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	L_{p_0}	дБ	Табл. 4.11	94	96	98	100	102	100	99	94
2	B	м²	» 4.12	50	50	55	70	100	160	300	600
3	$20 \lg r_3$ ($r_3=2m$)	—	—	8	6	6	6	6	6	6	6
4	L_0	дБ	Ф-ла (4.12)	80	82	84	86	88	86	85	80
5	$10^{0,1} L_0$	—	Табл. 2.8	10²	$1,6 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$
6	$4n/B$ ($n=3$)	—	—	$24 \cdot 10^{-2}$	$24 \cdot 10^{-2}$	$22 \cdot 10^{-2}$	$17 \cdot 10^{-2}$	$12 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
7	$10^{0,1} L_p$	—	Табл. 2.8	$2,5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^3$	10^{10}	$1,6 \cdot 10^{10}$	10^{10}	$8 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^9$
8	$4n/B \cdot 10^{0,1} L_p$	—	—	$6 \cdot 10^3$	$9,6 \cdot 10^3$	$14 \cdot 10^3$	$17 \cdot 10^3$	$19 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^3$	$32 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$
9	Сумма	—	П. 5+п. 6	$7 \cdot 10^3$	$11 \cdot 10^3$	$17 \cdot 10^3$	$21 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^3$	$12 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$
10	$a_{обл}$	—	Табл. 8.4	0,02	0,18	0,55	0,85	0,95	1	0,97	0,97
11	$S_{обл}$	м²	—	356	356	356	356	356	356	356	356
12	$\Delta A_{обл}$	»	—	7,1	64	196	303	338	356	345	345
13	\bar{a}	—	Табл. 4.10	0,07	0,07	0,07	0,09	0,13	0,19	0,3	0,48
14	$S - S_{обл}$	м²	—	344	344	344	344	344	344	344	344
15	A_1	—	Ф-ла (4.4)	24	24	24	31	45	65	102	158
16	$a_{зкр}$	—	Табл. 8.4 (п. 12)	(0,1)	0,4	0,85	0,98	1	0,93	0,97	1
17	$A_{зкр}$	м²	Ф-ла (4.14)	2,4	9,6	20,4	23,6	24	22,4	23,2	23
18	$A_1 + \Delta A + A_{зкр}$	—	—	34	98	240	358	407	443	470	527
19	\bar{a}_p	—	Ф-ла (4.17)	0,049	0,14	0,34	0,51	0,581	0,633	0,672	0,73
20	$1 - \bar{a}_1$	—	—	0,951	0,86	0,66	0,49	0,419	0,367	0,328	0,24
21	B_1	м²	Ф-ла (4.16)	36	114	363	730	970	1210	1430	2100
22	$4n/B_1$ ($n=3$)	—	—	$33 \cdot 10^{-2}$	$11 \cdot 10^{-2}$	$33 \cdot 10^{-3}$	$16 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
23	$4n/B_1 \cdot 10^{0,1} L_{p_0}$	—	—	$77 \cdot 10^7$	$44 \cdot 10^7$	$21 \cdot 10^7$	$16 \cdot 10^7$	$19 \cdot 10^7$	$10 \cdot 10^7$	$64 \cdot 10^6$	$15 \cdot 10^6$
24	$\Delta L_{зкр}$	дБ	Табл. 4.2	6	8	11	13	22	23	27	27
25	$L_2 - \Delta L_{зкр}$	»	» 4.13	74	73	73	68	66	63	58	58
26	$10^{0,1} (L_2 - \Delta L_{зкр})$	—	» 2.8	$2,5 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$6,3 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$6,3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
27	Сумма	—	П. 26+п. 23	$80 \cdot 10^7$	$47 \cdot 10^7$	$23 \cdot 10^7$	$17 \cdot 10^7$	$19 \cdot 10^7$	$10 \cdot 10^7$	$65 \cdot 10^6$	$15 \cdot 10^6$
28	Λ	—	П. 9 П. 27	0,875	2,3	7,4	12,3	13,1	12	9,7	10
29	$\Delta L = 10 \lg \Lambda$	—	Ф-ла (4.15)	0	3,6	8,8	10,9	11,1	10,8	9,8	10

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5.1.1. Шум вентиляторов, распространяясь по воздуховодам, проникает через приточные и вытяжные решетки в помещения или окружающую атмосферу и может создавать там уровни шума, превышающие допустимые по нормам.

Воздушный шум, создаваемый работающими вентиляционными установками в вентиляционных камерах, может также проникать в смежные с ними помещения или в атмосферу через ограждающие конструкции.

Кроме того, вентиляционные установки создают динамические нагрузки, которые передаются на строительные конструкции здания и возбуждают колебания конструкций в слышимом диапазоне частот. Возникающие колебания в виде структурного шума распространяются по всему зданию и приводят к излучению шума не только в смежные, но и отдаленные помещения.

Снижение шума, проникающего через ограждающие конструкции вентиляционных камер, решается в соответствии с указаниями гл. 3.

Снижение вибраций, передающихся на строительные конструкции, достигается методами виброизоляции, изложенными в специальных пособиях.

Здесь будут рассмотрены вопросы снижения воздушного шума, образующегося в вентиляционных системах и распространяющегося по воздуховодам в помещения или окружающую атмосферу.

5.1.2. Необходимость в проведении мероприятий по снижению шума вентиляционных установок выявляют акустическим расчетом (см. гл. 2).

5.1.3. Мероприятия по снижению шума необходимо предусматривать во всех случаях, когда требуемое снижение шума $\Delta L_{тр} \geq 3$ дБ хотя бы в одной октавной полосе.

5.2. ИСТОЧНИКИ ШУМА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК И ИХ ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

5.2.1. Основным источник шума в вентиляционных установках — вентилятор, причем преобладающим является аэродинамический шум. В установках с малым давлением возможно преобладание механического шума. Шум создается также при движении воздушного потока в элементах установки (диафрагмах, дросселях, плафонах, шиберях, поворотах воздуховодов, тройниках, решетках и т. п.).

Кроме того, посторонний шум может передаваться по вентиляционным каналам из одного помещения в другое.

5.2.2. Шумовые характеристики (октавные уровни звуковой мощности) источников шума принимаются по паспортам на это оборудование или каталожным данным.

Шумовые характеристики можно определять, руководствуясь данными, приведенными ниже.

5.2.3. Общий уровень звуковой мощности шума вентилятора $L_{робщ}$ определяют отдельно для сторон всасывания и нагнетания по формуле

$$L_{робщ} = \bar{L} + 25 \lg H + 10 \lg Q + \delta \quad (5.1)$$

где $L_{робщ}$ — общий уровень звуковой мощности шума вентилятора, дБ, относительно 10^{-12} Вт; \bar{L} — критерий шумности, дБ, зависящий от типа и конструкции вентилятора, величина которого принимается по табл. 5.1; H — полное давление, создаваемое вентилятором, Па, ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 0,1 \text{ кгс/м}^2$); Q — объемный расход вентилятора, м³/с; δ — поправка на режим работы вентилятора, дБ.

5.2.4. Октавные уровни звуковой мощности шума вентилятора $L_{ро}$, излучаемого открытым входным или выходным патрубком вентилятора в свободную атмо-

Таблица 5.1

Значения критерия шумности \bar{L} для вентиляторов, дБ

Тип и серия вентилятора	Сторона	
	нагнетания	всасывания
Центробежные:		
Ц4-70, Ц4-76	16	16
ВРС, Ц13-50	19,5	16
Ц9-55, Ц9-57, Ц12-90	22,5	18,5
ЦП7-40	23	18
Ц6-46	18	14
ВВД	23	25
ВДН	29	12
Ц4-100/2	16	13
Крышные:		
КЦ3-90	27	23
КЦ4-84-В	27	23
Ц3-04	24	24
Осевые:		
МЦ-4	21	21
К	18	18
06-320	19	19

Примечания: 1. При работе вентилятора в режиме п. п. д. от 1 до 0,9 значение δ равно нулю. При отклонении режима работы вентилятора от режима максимума к. п. д. не более чем на 20% значение δ принимается равным 20 дБ, при отклонении более чем на 20% — 4 дБ.

2. Для облегчения расчетов на рис. 5.1 приведен график для определения величин $25 \lg H + 10 \lg Q$.

3. Полученная по формуле (5.1) величина характеризует звуковую мощность, излучаемую открытым входным или выходным патрубком вентилятора в одну сторону в свободную атмосферу или в помещение при плавном подводе воздуха к входному патрубку.

4. При наплавном подводе воздуха к входному патрубку или установке дросселя во входном патрубке к величинам, указанным в табл. 5.1, следует добавлять для осевых вентиляторов 8 дБ, для центробежных вентиляторов 4 дБ.

Условия плавного подвода воздуха обеспечиваются, когда прямой участок воздуховода на всасывающей стороне имеет длину $l \geq 2+3D$ гда.

феру или в помещение (без присоединенного воздуховода), определяют по формуле

$$L_{P0} = L_{Pобщ} - \Delta L_1 \text{ дБ}, \quad (5.2)$$

где $L_{Pобщ}$ — общий уровень звуковой мощности шума вентилятора, излучаемого со стороны нагнетания или всасывания, дБ; ΔL_1 — поправка, учитываю-

5.2.5. Октавные уровни звуковой мощности вентилятора $L_{Pв}$, излучаемой в вентиляционную сеть, как в сторону обслуживаемого помещения, так и в атмосферу, определяют по формуле

$$L_{Pв} = L_{Pобщ} - \Delta L_1 + \Delta L_2 \text{ дБ}, \quad (5.3)$$

где ΔL_2 — поправка, учитывающая влияние присоединения вентилятора к сети воздуховодов или к одному воздуховоду, дБ; определяется по табл. 5.3.

Таблица 5.3

Поправка ΔL_2 , учитывающая влияние присоединения вентилятора или дросселирующего устройства к сети воздуховодов, дБ

Корень квадратный из площади патрубка вентилятора, мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	23,5	18	13	7,5	3	0,5	0	0
125	21,5	16,5	11	6,3	2	0,5	0	0
140	21	16	10,5	5,5	1,5	0	0	0
160	19,5	14,5	9,5	4,5	1	0	0	0
180	18	13,5	8,5	4	1	0	0	0
200	17	13	7,5	3	1	0	0	0
225	17	11,5	7	2,5	0,5	0	0	0
250	16,5	11	6,5	2	0,5	0	0	0
280	15,5	10,5	5,5	1,5	0	0	0	0
315	14,5	9,5	4,5	1	0	0	0	0
355	13,5	8,5	4	1	0	0	0	0
400	12,5	7,5	3	0,5	0	0	0	0
450	12	6,5	2,5	0,5	0	0	0	0
500	11	6	2	0,5	0	0	0	0
560	10,5	5,5	1,5	0	0	0	0	0
630	9,5	5	1	0	0	0	0	0
710	8,5	4	1	0	0	0	0	0
800	7,5	3	1	0	0	0	0	0
900	7	3	0,5	0	0	0	0	0
1000	6	2	0,5	0	0	0	0	0
1250	4,5	1	0	0	0	0	0	0
1400	4	1	0	0	0	0	0	0
1600	3	0,5	0	0	0	0	0	0

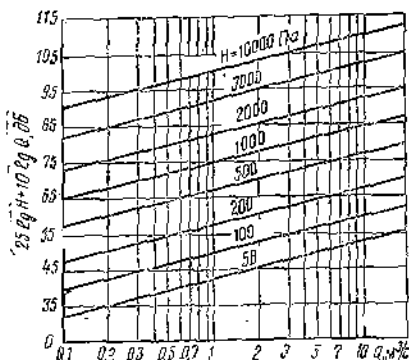


Рис. 5.1. График для определения величины $25 \lg H + 10 \lg Q$

щая распределение звуковой мощности вентилятора по октавным полосам, принимаемая в зависимости от типа вентилятора и частоты вращения по табл. 5.2.

Таблица 5.2

Поправка ΔL_1 , учитывающая распределение звуковой мощности вентилятора по октавным полосам, дБ

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	Центробежные вентиляторы с лопатками, загнутыми		Осевые вентиляторы
	вперед (ВРС, ВВД, ЦВ-55, ЦВ-57, ЦВ-50 и др.)	назад (ЦВ-70, ЦВ-75 и др.)	
32	(6)	(15)	(18)
63	6	11	13
125	6	7	8
250	6	5	9
500	9	6	5
1000	13	9	7
2000	17	16	10
4000	21	21	16
8000	26	26	23
(16 000)	(31)	(31)	(30)
(32 000)	(36)	(36)	(37)

Примечания: 1. Приведенные в табл. 5.2 данные без скобок справедливы, когда частота вращения вентилятора находится в пределах 700—1400 об/мин.

2. При частоте вращения вентилятора 1400—2800 об/мин весь спектр (всю колонку цифр) следует сдвинуть на октаву и сторону высоких частот (на строку вниз), а при 350—680 об/мин — на октаву и сторону низких частот (на строку вверх), принимая для крайних частот значения, указанные в скобках для частот 32 и 16 000 Гц.

3. При частоте вращения более 3800 об/мин весь спектр следует сдвинуть аналогичным образом на две октавы и сторону высоких частот, а при менее 350 об/мин — на две октавы и сторону низких частот.

4. Центробежные вентиляторы распределяются на группы с лопатками, загнутыми вперед: ЦВ-50, ВРС, ЦВ-55, ЦВ-57, ВВД, ЦВ-70, ЦВ-75, ВДМ, ЦВ-90 и с лопатками, загнутыми назад: ЦВ-70, ЦВ-75, ЦВ-100, ЦВ-130, ЦВ-14-Б.

5.2.6. Общий уровень звуковой мощности шума, излучаемого вентилятором через стенки корпуса и присоединяемых воздуховодов в помещение вентиляционной камеры, следует определять по формуле (5.1) при условии, что величина критерия шумности Z принимается по табл. 5.1 как его среднее значение для сторон всасывания и нагнетания.

Октавные уровни звуковой мощности шума, излучаемого вентилятором в помещение вентиляционной камеры, следует определять по формуле (5.2) и табл. 5.2.

5.2.7. Если в вентиляционной камере одновременно работает несколько вентиляторов, то для каждой октавной полосы необходимо определять суммарный уровень звуковой мощности шума, излучаемого всеми вентиляторами в помещении вентиляционной камеры.

Суммарный уровень звуковой мощности шума $L_{Pсум}$ при одновременной работе нескольких вентиляторов следует определять по методике п. 1.9.

5.2.8. Октавные уровни звуковой мощности шума, излучаемого в помещении местными кондиционерами и другими вентиляционными установками с осевыми вентиляторами (без сетей воздуховодов), следует определять по формуле (5.2) и табл. 5.2 с повышающей поправкой 3 дБ.

Для местных кондиционеров с центробежными вентиляторами октавные уровни звуковой мощности шума, излучаемого всасывающим и нагнетающим патрубками вентилятора, следует определять по формуле (5.2) и табл. 5.2, а затем сложить полученные уровни по табл. 1.3.

5.2.9. Общий уровень звуковой мощности шума, генерируемого дросселирующими, воздухомас-

лительными и воздухопримными устройствами (дроссель-клапаны, шиберы, решетки, плафоны и т. п.), может быть определен по формуле

$$L_{\text{общ}} = 60 \lg v + 30\zeta + 10 \lg F + 5 \Delta B. \quad (5.4)$$

где v — средняя скорость воздуха на входе в рассматриваемое устройство (элемент установки), м/с, подсчитанная по площади подводящего воздухопровода (патрубка) для дросселирующих устройств и плафонов и по габаритным размерам для решеток; ζ — безразмер-

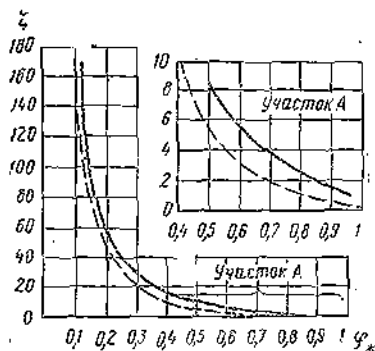


Рис. 5.2. Зависимость коэффициента сопротивления решетки ζ от ее живого сечения $F_{\text{ж}}$

— приточная решетка;
--- вытяжная решетка

ный коэффициент аэродинамического сопротивления элемента вентиляционной сети, отнесенный к скорости воздуха на входе в него; для дисковых плафонов ВНИИГС (струйная струя) $\zeta = 4$, для анемостатов и плафонов ВНИИГС (настильная струя) $\zeta = 2$; для приточных и вытяжных решеток коэффициенты сопротивления принимаются по графику на рис. 5.2; F — площадь поперечного сечения подводящего воздухопровода или решетки, м²; B — поправка, дБ, зависящая от типа обрабатываемого элемента: для дросселирующих устройств, анемостатов и дисковых плафонов $B = 6$ дБ; для плафонов конструкции ВНИИГС $B = 13$ дБ, для решеток $B = 0$.

5.2.10. Октавные уровни звуковой мощности шума, излучаемого в воздухопровод дросселирующими устройствами, следует подсчитывать по формуле (5.3).

При этом $L_{\text{общ}}$ подсчитывается по формуле (5.4), поправка ΔL_2 принимается по табл. 5.3 (за характерную площадь следует принимать площадь поперечного сечения воздухопровода, в котором установлен рассматриваемый элемент или устройство), а поправки ΔL_1 — по данным табл. 5.4 в зависимости от величины частотного параметра \bar{f} , который определяется уравнением

$$\bar{f} = \frac{f \cdot D}{v}, \quad (5.5)$$

где f — частота, Гц; D — средний поперечный размер воздухопровода (эквивалентный диаметр), м; v — средняя скорость на входе в рассматриваемый элемент, м/с.

5.2.11. Октавные уровни звуковой мощности шума, создаваемого в плафонах и решетках, следует рассчитывать по формуле (5.2), определяя $L_{\text{общ}}$ по формуле (5.4) и принимая поправки ΔL_1 по данным табл. 5.5.

5.2.12. Если скорость движения воздуха перед воздухораспределительным или воздухозаборным устройством или в решетке не превышает допускаемой

Таблица 5.4

Поправка ΔL_1 для определения октавных уровней звуковой мощности шума дросселирующих устройств, дБ

Частотный параметр \bar{f}	0,4	0,6	0,8	1	10	20	60
ΔL_1 , дБ	10	8	6	5	5	6	8

Продолжение табл. 5.4

Частотный параметр \bar{f}	80	100	200	400	600	800
ΔL_1 , дБ	9	10	13	18	21	24

Примечание. Промежуточные значения в табл. 5.4 следует принимать по интерполяции.

величины $v_{\text{доп}}$, то создаваемый в них шум при расчете необходимого снижения уровней звукового давления (см. п. 5.3.1) можно не учитывать.

5.2.13. Допускаемую скорость движения воздуха перед воздухораспределительным или воздухозаборным устройством установок можно определить по формуле

$$v_{\text{доп}} = 0,7 \cdot 10^k \text{ м/с}; \quad (5.6)$$

$$k = \frac{L_{\text{доп}} + 10 \lg \frac{B}{F \cdot n} - 30 \lg \zeta + \Delta L_1 - (B + \Delta + 6)}{60},$$

где $L_{\text{доп}}$ — допустимый октавный уровень звукового давления, дБ; определяется по формуле (2.2); n — общее число плафонов или решеток в рассматриваемом помещении; B — постоянная, помещения, м² в рассматриваемой октавной полосе; определяется в соответствии с п. 2.4.5; ΔL_1 — поправка, дБ, учитывающая распределение уровней звуковой мощности шума, генерируемого в плафонах или решетках, по октавным полосам, принимаемая по табл. 5.5; Δ — поправка, дБ, на расположение источника шума. При расположении плафона или решетки в рабочей зоне (не выше 2 м от пола) принимается $\Delta = 3$ дБ, выше этой зоны — $\Delta = 0$; 0,7 — коэффициент запаса; ζ , F , B — обозначения те же, что и в формуле (5.4).

Допускаемую скорость движения воздуха можно определять только для одной частоты, которая для плафонов ВНИИГС равна 250 Гц, для дисковых плафонов — 500 Гц, для анемостатов и решеток — 2000 Гц.

5.2.14. Для снижения звуковой мощности шума генерируемого поворотами и тройниками воздухопроводов, участками резкого изменения площади поперечного сечения и т. п., уровни которого в настоящее время неизвестны, скорости движения воздуха в ма-

Таблица 5.5

Поправка ΔL_1 , учитывающая распределение звуковой мощности шума плафонов и решеток по октавным полосам, дБ

Тип устройства	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Анемостат	6	7	8	10	11	12	22	28
Плафон ВНИИГС (струйная струя)	8	7	5	9	15	20	26	30
То же (настильная струя)	7	7	5	7	15	23	26	30
Дисковый плафон	7	7	8	7	10	16	23	28
Решетка	13	8	8	8	8	8	13	18

гидравлических воздуховодах общественных зданий и вспомогательных зданий промышленных предприятий должны быть не более 5—6 м/с, а на ответвлениях — 2—4 м/с. Для производственных зданий эти скорости могут быть увеличены соответственно до 10 и 5 м/с.

5.3. ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

5.3.1. При акустическом расчете центральной установки вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления следует рассматривать наиболее короткую ветвь воздуховодов. Если центральная установка обслуживает несколько помещений, для которых нормативные требования по шуму различны, то дополнительно следует рассчитать ветвь воздуховодов, обслуживающую помещение с наименьшим уровнем шума.

Отдельно следует делать акустический расчет ветвей воздуховодов, выходящих в атмосферу (всасывание и выброс воздуха установками).

Кроме того, необходимо рассчитывать местные отопительно-вентиляционные агрегаты, местные кондиционеры, агрегаты воздушных или воздушно-тепловых завес, местные отсосы, агрегаты установок воздушного душирования, которые ближе всего расположены к расчетным точкам или имеют наибольшие объемный расход и звуковую мощность.

Если между вентилятором и обслуживаемым помещением есть дросселирующие устройства (диафрагмы, дроссель-клапаны, шиберы), воздухораспределительные и воздухоприемные устройства (решетки, плафоны, анемостаты и т. п.), то их надо учитывать в расчете как самостоятельные источники шума (кроме случаев, указанных в пп. 5.2.12 и 5.5.7).

5.3.2. В общем случае акустический расчет следует делать для каждой из восьми октавных полос. Однако для центральных систем воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха при наличии разветвленной сети воздуховодов допускается производить расчет только для частот 125 и 250 Гц.

5.3.3. Если шум от источника (вентилятора, дросселирующего устройства и др.) распространяется по сети и проникает в помещение через вентиляционные решетки, то ожидаемые уровни звукового давления L_d в расчетной точке рассчитывают по формуле (2.16) или (2.17). При этом, если воздух от одной системы поступает в помещение через несколько решеток одинакового размера, то уровни шума, проникающего через каждую решетку, принимаются одинаковыми.

Примечания: 1. В зоне прямого звука учитывается шум только от одной решетки, ближайшей к расчетной точке; в зоне отраженного звука учитывается шум всех решеток, относящихся к рассматриваемой системе (Фла (2.16)).

2. В помещениях большого размера или со звукопоглощающей облицовкой (когда величина B велика), рассчитывать L_d , как правило, следует по формуле (2.16), выбирая расчетную точку в зоне прямого звука.

5.3.4. Шум вентилятора распространяется не только в обслуживаемое помещение, но и в атмосферу через решетки, шахты, вентиляционные кноски. В этих случаях расчетную точку выбирают на прилегающей территории (в соответствии с указаниями п. 2.4.1), а ожидаемые уровни звукового давления определяют по формуле (2.6), в которой полагают, что

$$10 \lg \frac{P_i}{4\pi} = \Delta L_n - 8 \text{ дБ},$$

а величину ΔL_n определяют по рис. 5.3.

5.3.5. Если источник вентиляционного шума (например, комнатный кондиционер отопительно-вен-

тиляционный агрегат и т. п.) находится в обслуживаемом помещении, то ожидаемые уровни звукового давления в расчетной точке для источников, расположенных на полу или на стене, определяют по формуле (2.19).

При пользовании этой формулой для кондиционеров или отопительно-вентиляционных агрегатов, установленных внутри помещения, например на колоннах, принимается $S = 4\pi r^2$; для других источников (осевых вентиляторов и генерирующих шум вентиляционных решеток $S = \frac{4\pi r^2}{\Phi}$ (значения Φ определяют по рис. 2.11).

5.3.6. Если в помещение поступает шум от нескольких источников (например, от вентиляционной установки через приточные и рециркуляционные решетки,

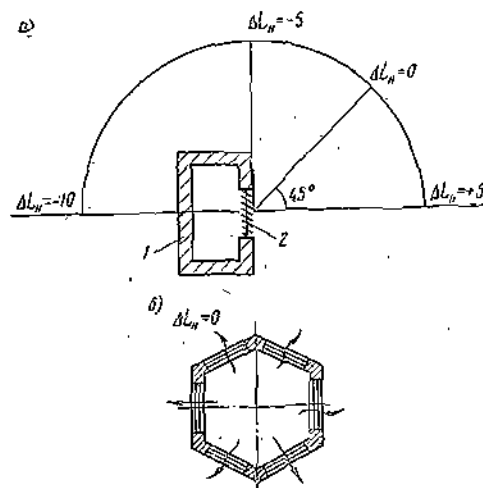


Рис. 5.3. Поправка ΔL_n (дБ) на расположение расчетной точки относительно оси излучающего шум элемента установки (шахты, решетки и т. п.)

а — выпуск воздуха в одну сторону; б — равномерный выпуск; 1 — вентиляционная шахта; 2 — жалюзийная решетка

от автономных кондиционеров или отопительно-вентиляционных агрегатов и др.), то выбирают несколько расчетных точек на рабочих местах, ближайших к рассматриваемым источникам шума, и для них по формуле (2.16) или (2.19) определяют октавные уровни звукового давления, создаваемые ближайшим источником шума.

5.3.7. Требуемое снижение уровней звукового давления $\Delta L_{тр}$ для проектируемых вентиляционных установок, когда шум в расчетную точку попадает от одного или нескольких источников, определяют по методике, описанной в п. 2.5.

Примечание. Вентиляционная система со всеми решетками в обслуживаемом ею помещении рассматривается как один источник.

5.3.8. Если в «шумное» (с более высоким средним уровнем звукового давления) и в «тихое» (с более низким средним уровнем звукового давления) помещения воздух подается через один и тот же воздуховод (от одной системы), то требуемое снижение шума при его распространении по воздуховоду из «шумного» помещения в «тихое» можно определять по формулам:

$$\Delta L_{тр} = L_{пом} + 10 \lg S_p - \Delta L_p - 10 \lg B_m - L_{доп} \text{ дБ}; \quad (5.7)$$

$$L_{\text{пом}} = 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0,1 L_i} - 10 \lg B_{\text{ш}} + 6 \text{ дБ}, \quad (5.8)$$

где $L_{\text{пом}}$ — средний октавный уровень звукового давления в «шумном» помещении, дБ; S_p — площадь решетки (или решеток), через которую шум проникает в воздухопровод из «шумного» помещения, м^2 ; ΔL_p — снижение октавного уровня звуковой мощности на участке вентиляционной сети между рассматриваемыми помещениями, дБ; определяется по данным п. 5.4; $B_{\text{ш}}$ — постоянная изолируемого помещения в данной октавной полосе, м^2 ; определяется в соответствии с п. 2.4.5; $L_{\text{доп}}$ — допустимый октавный уровень звукового давления для изолируемого помещения дБ; определяется по формуле (2.2); L_p — октавный уровень звуковой мощности отдельного источника в шумном помещении, дБ; $B_{\text{ш}}$ — постоянная «шумного» помещения в данной октавной полосе, м^2 (см. п. 2.4.5); m — общее число принимаемых в расчет источников шума (см. пп. 2.5.3 и 2.5.4).

Примечание. Первый член в формуле (5.8) можно определить по правилу сложения уровней звуковой мощности, пользуясь табл. 1.3.

5.3.9. Если шум в помещении может проникать через стенки воздухопроводов, т. е. уровень звукового давления L_i , определенный по формуле (2.18), выше $L_{\text{доп}}$, то требуемую звукоизолирующую способность стенок воздухопроводов $R_{\text{тр}}$ (при невозможности снижения уровня звукового давления другими средствами) следует определять по формуле

$$R_{\text{тр}} = L_{p_{\text{в}}} - \Delta L_{p_{\text{в}}} - L_{\text{доп}} - 10 \lg B - 10 \lg \frac{S_0}{S_{\text{кан}}} \text{ дБ}, \quad (5.9)$$

где $L_{p_{\text{в}}}$ — уровень звуковой мощности шума, излучаемого вентилятором в вентиляционную сеть, дБ; $\Delta L_{p_{\text{в}}}$ — потери звуковой мощности, дБ, на участке сети от вентилятора до сечения рассматриваемого воздухопровода на входе его в помещение; $L_{\text{доп}}$ — допустимый по нормам уровень звукового давления в помещении, дБ; B — постоянная помещения, м^2 , определяемая по п. 2.4.5; $S_{\text{кан}}$ — площадь поверхности воздухопровода в пределах помещения, м^2 ; S_0 — площадь поперечного сечения воздухопровода, м^2 .

5.3.10. Если шум проникает из шумного помещения в воздухопровод на участках, расположенных после глушителя в пределах вентиляционной камеры или проходящих через шумные производственные помещения, то требуемую звукоизолирующую способность стенок воздухопровода определяют по формуле

$$R_{\text{тр}} = L_{\text{пом}} + 10 \lg S_{\text{кан}} - L_{p_{\text{в}}} + \Delta L_{p_{\text{в}}} - 4 \text{ дБ}, \quad (5.10)$$

где $L_{\text{пом}}$ — средний октавный уровень звукового давления в шумном помещении, дБ; определяется по формуле (5.8); $S_{\text{кан}}$ — площадь поверхности воздухопровода в пределах шумного помещения, м^2 ; $\Delta L_{p_{\text{в}}}$ — потери звуковой мощности, дБ на участке сети от вентилятора до сечения рассматриваемого воздухопровода на выходе из помещения.

Примечания: 1. «Вход» в воздухопровод и «выход» из него считают по направлению распространения звука.

2. При проникании шума из воздухопровода в помещение требуемая звукоизолирующая способность его стенок может быть уменьшена, если на участке между вентилятором и помещением установить глушитель или заменить уже запроектированный глушитель на более эффективный.

3. Если шум проникает из шумного помещения в воздухопровод, требуемую звукоизолирующую способность стенок воздухопроводов можно уменьшить применением звукопоглощающей облицовки стенок и потолка шумного помещения (например, вентиляционной камеры), вследствие чего понизится средний уровень звукового давления в помещении и уменьшится шум, проникающий в воздухопровод.

5.3.11. Приближенные частотные характеристики звукоизолирующей способности различных вариантов стенок воздухопроводов, которыми можно пользоваться для подбора конструкции, удовлетворяющей требованию по расчету звукоизоляции, приведены в табл. 5.6 и 5.7.

Таблица 5.6

Звукоизолирующая способность стенок прямоугольных воздухопроводов сечением не менее $0,25 \text{ м}^2$, дБ

Материал воздухопровода	Толщина материала, мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Сталь	0,7	8	15	18	23	26	30	34	37
	1	12	16	20	24	29	33	36	34
	2	16	20	24	29	33	36	34	34
Сталь (1 мм) с облицовкой из минераловатных плит $\rho_{\text{ср}} = 100 \text{ кг/м}^3$	80	(16)	(20)	(26)	(30)	(34)	(38)	(42)	(45)
Железобетон	50	28	34	35	35	41	48	55	55
Кирпичная кладка	130	32	39	40	43	48	54	60	60
Гипсобе-тонные плиты	80	(24)	28	33	37	39	44	44	—
Керамзитобетонные плиты	80	(26)	33	34	39	47	52	—	—

Таблица 5.7

Звукоизолирующая способность стенок круглых воздухопроводов диаметром от 300 до 600 мм, дБ

Материал воздухопровода	Толщина облицовки, мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Сталь $\delta = 0,7 \text{ мм}$	—	(33)	24	28	29	24	24	22	29
То же, с облицовкой из асбестовой ткани	5	(38)	31	36	36	34	34	39	48
То же, с облицовкой минераловатными плитами	50—80	(37)	30	38	40	40	41	44	48
То же, с нанесением мастики ВД-17-59	6	(35)	32	32	35	34	32	35	34

Примечания: 1. Значения, указанные в скобках в табл. 5.6 и 5.7, являются ориентировочными.

5.4. СНИЖЕНИЕ УРОВНЕЙ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ В ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ

5.4.1. Суммарное снижение уровней (потери) звуковой мощности по пути распространения шума в вентиляционной сети определяют по формуле (2.7). Снижение уровней звуковой мощности в отдельных элементах сети установок общей и местной вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления с механическим побуждением для зданий и сооружений различного назначения при поперечных размерах воздухопроводов от 0,1 до 2 м определяют в пп. 5.4.2—5.4.7.

5.4.2. В прямых участках воздухопроводов прямоугольного сечения снижение уровней звуковой мощности следует принимать по табл. 5.8.

5.4.3. Снижение уровней звуковой мощности в прямоугольных необлицованных поворотах воздухопроводов можно определять по графику на рис. 5.4 или по табл. 5.9. При угле поворота менее или равном 45° снижение уровней звуковой мощности не учитывают.

Таблица 5.8

Снижение уровней звуковой мощности в металлических воздуховодах прямоугольного сечения, дБ/м

Поперечное сечение, мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
160 × 160	0,4	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,1	0,1
500 × 500	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	—	—
1000 × 1000	0,3	0,2	0,1	0,03	—	—	—	—

Примечания: 1. Для промежуточных размеров воздуховодов снижение уровней звуковой мощности следует определять интерполированием.

2. Снижение уровней звуковой мощности в металлических воздуховодах круглого сечения не учитывают.

Таблица 5.9

Снижение уровней звуковой мощности в прямоугольных необлицованных поворотах воздуховодов, дБ

Размер воздуховода в плоскости поворота, мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	0	0	0	0	3	8,5	7	5
160	0	0	0	1,5	7,5	8	5,5	6
200	0	0	0	3	3,5	7	5	6,5
250	0	0	0,5	5,5	8,5	6,5	5	7
315	0	0	1	7	8	5,5	6	7,5
400	0	0	3	8,5	7	6	5,5	7,5
500	0	0,5	5,5	8,5	6,5	5,5	7	8
630	0	1,5	7	5	5	6	7,5	8
800	0	3	8,5	7	5	6,5	7,5	8
1000	0,5	5,5	8,5	6,5	3,5	7	8	8
1250	1,5	7,6	3	5	6	7,5	8	8
1600	3	8,5	7	5	6,5	7,5	8	8
2000	5,5	8,5	6,5	5	7	8	8	8

Для плавных поворотов и прямых колен воздуховодов с направляющими лопатками снижение уровней звуковой мощности можно принимать по табл. 5.10.

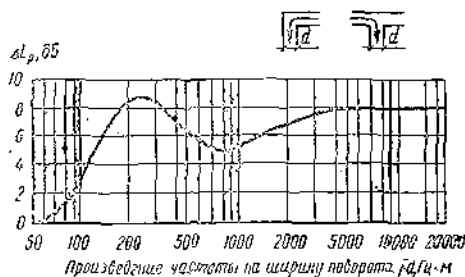


Рис. 5.4. Снижение уровней звуковой мощности шума в прямых необлицованных поворотах воздуховодов

5.4.4. Снижение уровней звуковой мощности при резком изменении поперечного сечения воздуховода для всех частот (для расширения и для сужения) можно определять по табл. 5.11 или по формуле

$$\Delta L_p = 10 \lg \left(\frac{m+1}{4m} \right)^2 \text{ дБ; } \left. \begin{aligned} m &= \frac{F_1}{F_2} \end{aligned} \right\} \quad (5.11)$$

Таблица 5.10

Снижение уровней звуковой мощности в плавных поворотах воздуховодов или прямоугольных поворотах с направляющими лопатками, дБ

Ширина или диаметр поворота, мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
125—250	0	0	0	0	1	2	3	3
250—500	0	0	0	1	2	2	3	3
510—1000	0	0	1	2	3	3	3	3
1100—2000	0	1	2	3	3	2	3	3

где F_1 и F_2 — площадь поперечного сечения воздуха до и после изменения сечения, м^2 .

При плавном переходе воздуховода от одного сечения к другому снижение уровней звуковой мощности не учитывают.

Таблица 5.11

Снижение уровней звуковой мощности при резком изменении поперечного сечения воздуховода, дБ

Отношение площадей поперечных сечений, см		Снижение уровней звуковой мощности, дБ
F_2/F_1	F_1/F_2	
1	1	0
0,5	2	0,5
0,4	2,5	1
0,33	3	1,5
0,25	4	2
0,2	5	2,5

5.4.5. Снижение уровней звуковой мощности в разветвлении воздуховода для всех частот следует определять по графику рис. 5.5 или по формуле

$$\Delta L_p = 10 \lg \frac{\sum_i F_{отв_i}}{F_{отв_i}} \cdot \frac{(m' + 1)^2}{4m'},$$

$$m' = \frac{F_{mag}}{\sum F_{отв_i}}, \quad (5.12)$$

где F_{mag} — площадь поперечного сечения магистрального воздуховода перед разветвлением, м^2 ; $F_{отв_i}$ — площадь поперечного сечения рассматриваемого ответвления воздуховода, м^2 ; $\sum F_{отв_i}$ — суммарная площадь поперечных сечений всех ответвлений воздуховодов данного разветвления, м^2 .

Примечания: 1. Для тройников на ответвлении с поворотом на 90° к величине ΔL_p , подсчитанной по формуле (5.12), следует прибавлять снижение уровней звуковой мощности в повороте воздуховода, определяемое по графику на рис. 5.4. или табл. 5.9.

2. Для тройников на проходе следует учитывать только снижение уровня звуковой мощности по формуле (5.12).

5.4.6. Снижение уровней звуковой мощности в результате отражения от открытого конца воздуховода или решетки в зависимости от частоты звука, габаритной площади решетки или поперечного сечения выпускного отверстия и их расположения в помещении можно определять по графику на рис. 5.6 или по табл. 5.12.

5.4.7. Снижение уровней звуковой мощности в фильтрах и калориферах не учитывается.

5.4.8. В установках общеобменной вентиляции шахт, рудников, транспортных тоннелей и т. п. с поперечными размерами каналов 2—8 м снижение уровня звуковой мощности в отдельных элементах сети определяется по пп. 5.4.9—5.4.13.

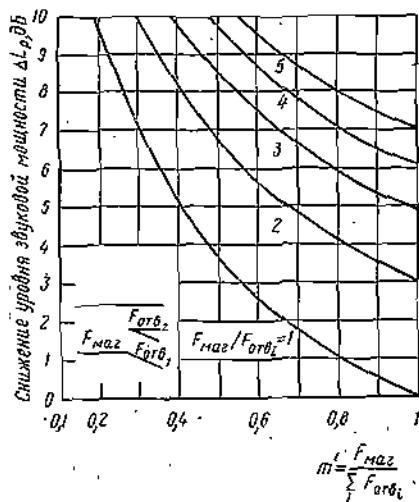


Рис. 5.5. Снижение уровней звуковой мощности шума в ответвлении воздухопровода (сечение $F_{отв1}$)

5.4.9. Снижение уровней звуковой мощности на прямых участках каналов и тоннелей можно определять, пользуясь табл. 5.13, где приведено затухание шума

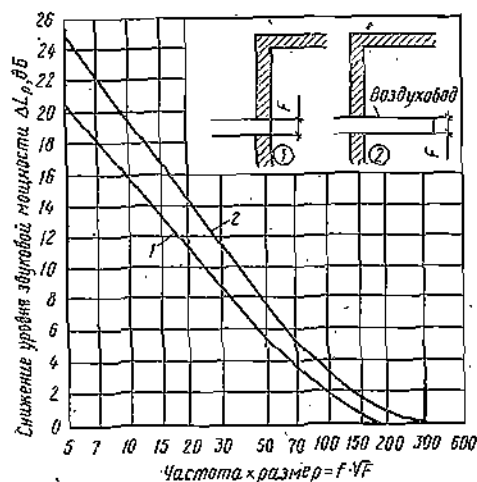


Рис. 5.6. Снижение уровней звуковой мощности в результате отражения от открытого конца воздухопровода или решетки

1 — конец воздухопровода (решетка) заподлицо со стеной; 2 — конец воздухопровода (плафон) выступает в помещение; F — площадь поперечного сечения воздухопровода (решетки), m^2

на длине, равной гидравлическому диаметру $D_{гидр} = 4F/P_K$ (F — площадь поперечного сечения канала или тоннеля, m^2 ; P_K — его периметр, m).

Таблица 5.12

Снижение уровней звуковой мощности в результате отражения от открытого конца воздухопровода или решетки, дБ

Площадь поперечного сечения конечного элемента, m^2	Тип расположения воздухопровода (см. рис. 5.6)	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц					
		63	125	250	500	1000	2000 и выше
0,01	1	18	15	10	5	2	0
	2	23	18,6	13	7,5	3	0
0,02	1	16	11	7	3	0,5	0
	2	20	15	10	5	1,5	0
0,03	1	15,5	11	6	2	0	0
	2	19	14	8	4	1	0
0,04	1	15	10	5,5	2	0	0
	2	18	13	7,5	3	1	0
0,05	1	13,5	9	5	1,5	0	0
	2	17	12	7	3	0,5	0
0,06	1	13	8,5	4,5	1	0	0
	2	17	11,5	6,5	2,5	0,5	0
0,07	1	13	8	4	1	0	0
	2	16,5	10,5	6	2	0,6	0
0,08	1	12	8	3,5	0,5	0	0
	2	15,5	10,5	5,5	1,5	0	0
0,1	1	11	7	3	0,5	0	0
	2	14,5	9	4,5	1,5	0	0
0,15	1	10	6	2	0	0	0
	2	13	8	3	1	0	0
0,2	1	9	5	1	0	0	0
	2	12	7	3	1	0	0
0,3	1	8	4	1	0	0	0
	2	11	6	2	0,5	0	0
0,4	1	7	3	0,5	0	0	0
	2	10	5	1,5	0	0	0
0,5	1	6	2	0	0	0	0
	2	8,5	3,5	1	0	0	0
0,6	1	5,5	2	0	0	0	0
	2	8	3	1	0	0	0
0,8	1	5	1,5	0	0	0	0
	2	7	3	0,5	0	0	0
1	1	4,5	1	0	0	0	0
	2	6,5	2	0,5	0	0	0
2	1	2	0	0	0	0	0
	2	3,5	1	0	0	0	0

Примечание. Для прямоугольных или круглых воздухопроводов снижение шума в результате отражения от открытого конца воздухопровода или решетки следует принимать таким же, как и для квадратных воздухопроводов равной площади поперечного сечения.

5.4.10. Снижение уровней звуковой мощности в прямоугольных необлицованных поворотах можно определять по графику рис. 5.4.

Для поворотов каналов на 180° (два последовательно расположенных одинаковых поворота на 90°) величину снижения уровня звуковой мощности следует

Таблица 5.13

Снижение уровней звуковой мощности в каналах, тоннелях, коллекторах на длине, равной гидравлическому диаметру, дБ

Тип канала, тоннеля	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Кирпичный или бетонный канал	0,04	0,09	0,11	0,15	0,18	0,22	0,27	0,32
Круглый туннель	0,15	0,4	0,7	1	1,25	1,5	1,8	2,1
Прямоугольный туннель из сборного железобетона	0,14	0,3	0,5	0,67	0,83	1,05	1,2	1,4
Канал с ребристым перекрытием	0,4	0,55	0,65	0,8	0,9	1	1,1	1,2
Канал со ступенчатым полом	0,05	0,1	0,15	0,22	0,28	0,33	0,38	0,45
Кабельный коллектор	0,4	0,64	0,86	1,07	1,3	1,5	1,7	1,95

принимать в 1,5 раза больше, чем для одного поворота, на 90°.

Для двух или трех последовательно расположенных (различной ширины) поворотов на 90° каждый (расстояние между поворотами меньше ширины канала) общее снижение уровня звуковой мощности может быть определено как сумма снижений на составляющих поворотах с коэффициентом 0,75.

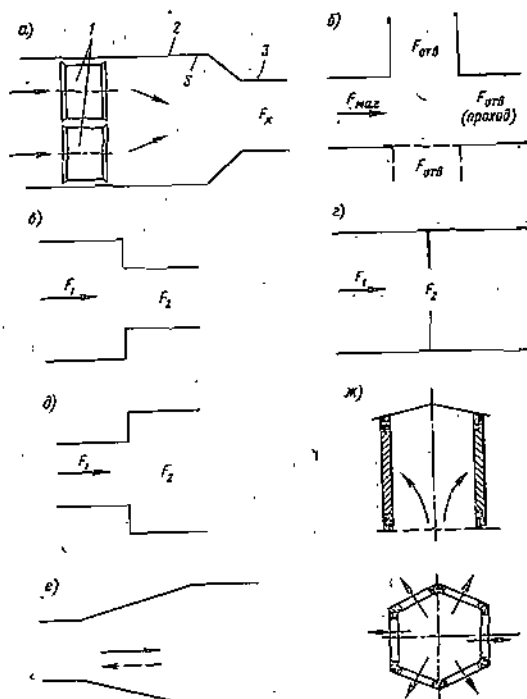


Рис. 5.7. Элементы вентиляционной сети
1 — вентилятор; 2 — камера; 3 — канал, выходящий из камеры

5.4.11. Снижение уровня звуковой мощности в облицованных камерах (рис. 5.7, а) — коротких участках каналов, в которых установлены вентиляторы, может быть определено по формуле (7.2). Если поверхности стен камер гладкие, например оштукатуренные и окрашенные масляной краской, снижение уровня звуковой мощности может не учитываться.

5.4.12. Снижение уровня звуковой мощности в разветвлениях (рис. 5.7, б) для всех частот

$$\Delta L_p = 10 \lg \frac{0,5 F_{\text{маг}} + \Sigma F_{\text{отв}}}{F_{\text{отв}}} \text{ дБ.} \quad (5.13)$$

где $F_{\text{маг}}$, $F_{\text{отв}}$, $\Sigma F_{\text{отв}}$ — то же, что и в формуле (5.12).

Примечания: 1. Для тройников или крестовин на ответвлении с поворотом на 90° к величине ΔL_p , подсчитанной по формуле (5.13), следует прибавлять снижение уровней звуковой мощности в поворотах канала, определяемое по графику рис. 5.4.

2. Для тройников или крестовин на проходе следует учитывать только снижение уровня звуковой мощности по формуле (5.13).

5.4.13. Снижение уровня звуковой мощности при резком сужении канала (рис. 5.7, в) на всех частотах

$$\Delta L_p = 10 \lg \frac{F_1}{F_2} \text{ дБ,} \quad (5.14)$$

где F_1 и F_2 — площади поперечных сечений канала до сужения и после.

Снижение уровня звуковой мощности при постоянном поперечном сечении канала перегородкой с отверстием (диафрагма), площадью F_2 (рис. 5.7, г) может быть определено по формуле (5.14).

Если канал расширяется или плавно сужается (рис. 5.7, д, е), то $\Delta L_p = 0$.

5.4.14. Снижение уровня звуковой мощности в вентиляционных кносах (четырёх-, шести- или восьмигранных) (рис. 5.7, ж) может быть принято равным: $\Delta L_p = 3$ дБ на частотах 125—8000 Гц. На частоте 63 Гц $\Delta L_p = 0$.

Для жалюзийных решеток $\Delta L_p = 0$.

5.5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЛУШИТЕЛЕЙ ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

5.5.1. Для снижения шума вентиляционных установок наиболее целесообразно применять диссипативные глушители (см. рис. 7.1) со звукопоглощающими материалами. При ограничении места для установки глушителей целесообразно облицовывать изнутри прямые участки воздухопроводов и отводов звукопоглощающими материалами.

Расчет, выбор типа и определение размеров глушителей следует производить в соответствии с указаниями гл. 7.

5.5.2. Для ориентировочной оценки допустимой скорости движения воздуха в вентиляционных глушителях, при определении их конкретных габаритов допускается пользоваться данными табл. 5.14.

Таблица 5.14

Допускаемая скорость движения воздуха в глушителях систем вентиляции общественных и административных зданий, м/с

Индекс предельного спектра шума в обслуживаемом помещении	ПС-25	ПС-35	ПС-45	ПС-60
Допускаемая скорость движения воздуха, м/с	4	6	8	10

Примечания: 1. В производственных зданиях промышленных предприятий скорость движения воздуха в глушителях, как правило, не должна превышать 12 м/с.

2. Когда по технологическим требованиям скорость движения воздуха превышает 12 м/с (например, аспирационные системы и т. п.), помимо центрального глушителя на ответвлениях после воздухоприемного устройства следует устанавливать дополнительные глушители. Если нет данных о звуковой мощности шума, возникающего в элементах этих установок, на конечных участках следует устанавливать трубчатые глушители длиной 1 м.

5.5.3. Глушители для вентиляционных систем рекомендуется подбирать по табл. 7.3—7.6.

Примечание. Рабочие чертежи элементов конструкций трубчатых, пластинчатых и сотовых глушителей и их акустические характеристики даны также в альбоме типовых чертежей Центрального института типовых проектов (серии 4-904-18).

В случаях когда табличные значения эффективности даны в децибелах на 1 м длины глушителя, необходимую длину глушителя определяют для каждой октавной полосы по формуле

$$l_{\text{тр}} = \frac{\Delta L_{\text{тр}}}{\Delta L} \text{ м,} \quad (5.15)$$

где $\Delta L_{\text{тр}}$ — требуемое заглушение шума в глушителе, дБ; ΔL — табличное значение заглушения шума в глушителе, (дБ) длиной 1 м.

Длину глушителей следует принимать по наибольшему из всех значений $L_{тр}$, полученных в результате расчета для отдельных октавных полос.

В остальных случаях длину глушителя определяют в соответствии с указаниями п. 7.9.5.

5.5.4. Требуемая длина глушителя может быть уменьшена в результате применения облицованных отводов и звукопоглощающих облицовок в поворотах и прямых участках каналов.

Величины заглушения шума в облицованных отводах и благодаря устройству звукопоглощающих облицовок на поворотах можно принимать по табл. 7.15 и 7.16. Снижение шума в облицованных воздуховодах определяют по пп. 7.7.2—7.7.4 и табл. 7.9 и 7.10.

5.5.5. Заглушение шума в облицованных приточных камерах (см. рис. 5.10) определяют по формуле (7.2).

5.5.6. При компоновке вентиляционных установок целесообразно устанавливать центральный глушитель и предусматривать для него место по возможности ближе к вентилятору в начале вентиляционной сети, чтобы ограничить до минимума шум, проникающий через стенки воздуховодов в помещения, через которые они проходят.

5.5.7. После того как запроектирован центральный глушитель, необходимо определить уровень звуковой мощности шума, излучаемого в вентиляционную сеть дросселирующим устройством (если он необходим в сети), по пп. 5.2.9 и 5.2.10.

Уровни звуковой мощности шума вентилятора перед дросселирующим устройством определяют по формуле

$$L_{P_{в1}} = L_{P_{в}} - \Delta L_{P_{в}} - \Delta L_{гд} \text{ дБ}, \quad (5.16)$$

где $L_{P_{в}}$ — октавный уровень звуковой мощности шума,

излучаемого вентилятором в сеть, дБ; $\Delta L_{P_{в}} = \sum_{i=1}^m \Delta L_{P_i}$ — суммарное снижение уровня (потери) звуковой мощности (дБ) в элементах сети по пути распространения шума от вентилятора до дросселирующего устройства; определяются в соответствии с п. 5.4; $\Delta L_{гд}$ — снижение уровня звуковой мощности (дБ) в запроектированном центральном глушителе (эффективность глушителя).

При акустическом расчете вентиляционной системы шум, излучаемый дросселирующими устройствами в воздуховод, можно не учитывать лишь в том случае, когда уровни звуковой мощности этого шума во всех октавных полосах по крайней мере на 5 дБ ниже, чем уровни звуковой мощности шума от вентилятора (с учетом снижения шума в глушителе) перед этим устройством. В остальных случаях необходимо рассчитать требуемое снижение шума дросселирующего устройства и подобрать глушитель, который должен быть установлен после дросселирующего устройства.

Примечание. При определении требуемого заглушения шума дросселирующего устройства шум от вентиляционных систем, для которых предусмотрены глушители, в расчете по формуле (2.23) не учитывается.

5.5.8. Помещение вентиляционной камеры рекомендуется отделять от помещения для глушителей стеной с поверхностью плотностью конструкции не менее 100—150 кг/м². Если такой возможности нет, наружный кожух глушителя и воздуховоды после него, находящиеся в пределах вентиляционной камеры (или проходящие по шумному помещению), следует дополнительно изолировать снаружи с таким расчетом, чтобы звукоизолирующая способность стенок отвечала требуемой по расчету. Требуемую звукоизолирующую способность рассчитывают по формуле (5.16).

5.5.9. Рекомендации по применению звукопоглощающих материалов в вентиляционных глушителях и для облицовки вентиляционных камер даны в главе 8.

Примечания: 1. При проектировании вытяжных установок для агрессивных сред (с щелочами, кислотами и др.) материалы для заполнения глушителей, облицовок воздуховодов и камер, а также для защитных оболочек в этих конструкциях следует выбирать для каждого случая отдельно с учетом свойств среды.

2. При повышенных температурах воздуха (более 100°С), транспортируемого через глушитель, воздуховод или камеру, следует применять только температуростойкие звукопоглощающие материалы (супертонкое стеклянное или базальтовое волокно, минеральную вату и т. п.).

5.5.10. Гидравлическое сопротивление пластинчатых и сотовых вентиляционных глушителей рассчитывают по формуле

$$H_{гд} = \left(\xi + \lambda \frac{l}{D_r} \right) \frac{v^2 \rho}{2}, \text{ Па (Н/м}^2\text{)}, \quad (5.17)$$

где ξ — суммарный коэффициент местного сопротивления для глушителей; для сотовых и пластинчатых глушителей находится по табл. 5.15; λ — коэффициент трения, определяется по табл. 5.16; l — длина глушителя, м; D_r — гидравлический диаметр, м; v — скорость воздуха в воздуховоде перед глушителем, м/с; ρ — плотность воздуха в воздуховоде, кг/м³.

Таблица 5.15

Коэффициент местного сопротивления ξ для пластинчатых и сотовых глушителей

Пластина	Отношение $F_{св}/F_{габ}$					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Незакрытая	9,2	4,15	2	1,05	0,5	0,22
Закрытая	6,9	3	1,4	0,7	0,3	0,12

Примечания: 1. $F_{св}$ и $F_{габ}$ — свободная площадь глушителя и габаритная площадь воздуховода, где установлен этот глушитель;

2. Для трубчатых глушителей $\xi=0$.

Таблица 5.16

Коэффициент трения λ

Гидравлический диаметр D_r , м	0,1	0,2	0,4	0,6	1	1,6
Коэффициент трения λ	0,06	0,05	0,04	0,03	0,025	0,025

Примечание. Для пластинчатого и сотового глушителей величина гидравлического диаметра всего глушителя та же самая, что и для одного из составляющих его одинаковых параллельных каналов.

5.6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. *Задание.* Определить шум в рабочей зоне обслуживаемого помещения, создаваемый при работе установки вентиляции, выявить необходимость снижения уровня шума, определить требуемое заглушение и подобрать глушитель.

Исходные данные. Воздух в количестве 800 м³/ч подается от центральной вентиляционной установки через две жалюзийные решетки размером 200 × 200 мм в рабочее помещение с площадью пола 5 × 10 м² и высотой потолка 3,5 м. Воздух из помещения забирается через две решетки таких же размеров. Решетки имеют относительное свободное сечение 0,6 и расположены выше рабочей зоны. Рабочее помещение — конструкторское бюро в административном здании. Расстояние между расчетной точкой и ближайшей приточной решеткой $r = 1,3$ м.

Схема приточной вентиляционной установки показана на рис. 5.8. В приточной установке используется вентилятор Ц4-70 № 6 с параметрами: объемный расход 8000 м³/ч, давление 700 Па (70 кг/м²), частота вращения 1100 об/мин, режим работы оптимальный. Размер выходного патрубка вентилятора 425×425 мм. Скорости движения воздуха в сети воздуховодов не превышают рекомендуемых для предупреждения шумообразования (см. п. 5.2.14); поэтому акустический расчет должен учитывать только шум, создаваемый вентилятором и генерируемый решетками (приточными и рециркуляционными). Объемный расход воздуха через расчетную ветвь вентиляционной сети (через одну решетку) 400 м³/ч.

Шум в помещении не должен превышать значения нормативной кривой с индексом ПС-45.

Решение. Расчет представляем в табличной форме (табл. 5.17).

Рассчитываем сначала по формуле (5.6) допускаемую скорость движения воздуха в приточных решетках, подставив предварительно все необходимые параметры

Площадь решетки $F = 0,2 \times 0,2 = 0,04 \text{ м}^2$.

Зная относительное свободное сечение решетки по рис. 5.2, находим коэффициент аэродинамического сопротивления $\xi = 6$.

В соответствии с п. 5.2.13 расчет допускаемой скорости для решеток можно делать только для частоты

Таблица 5.17

№ п. п.	Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Нормативные уровни звукового давления L_p (кривая ПС-45)	дБ	Табл. 2.1	71	61	54	46	45	42	40	38
2	Поправка $\Delta_{\text{п}}$	»	Прим. 1 к табл. 2.1	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
3	$L_{\text{доп}}$	»	Ф-ла (2.2)	66	56	49	44	40	37	35	33
4	Частотный множитель μ	—	Табл. 2.7	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
5	Постоянная помещения $B = \mu B_{1000}$	дБ	» 2.6 Рис. 2.3	26	24	23	26	32	45	58	80
6	Поправка ΔL_i при $n = 1100 \text{ об/мин}$	»	Табл. 5.2	11	7	5	6	9	16	21	26
7	Поправка ΔL_r	»	» 5.3	12,5	7,5	3	0,5	0	0	0	0
8	Октавный уровень звуковой мощности вентилятора L_p	»	Ф-ла (5.3)	92,5	91,5	89	85,5	82	75	70	65
9	Снижение шума в плавных поворотах шириной 400 мм	»	Табл. 5.10	0	0	0	1	2	3	3	3
10	Затухание шума в металлическом воздуховоде 800×400 мм, длиной 10 м	»	» 5.8	3,5	3	2	1	1	1	1	1
11	Снижение шума в прямоугольном повороте шириной 400 мм	»	» 5.9	0	0	3	8,5	7	5	5,5	7,5
12	Снижение шума в разветвлении ($m' = 0,89$)	»	Рис. 5.5	4	4	4	4	4	4	4	4
13	Затухание шума в воздуховоде сечением 400×400 мм, длиной 4 м	»	Табл. 5.8	1,5	1,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
14	Снижение шума в разветвлении ($m' = 1$)	»	Рис. 5.5	3	3	3	3	3	3	3	3
15	Снижение шума в прямоугольном повороте шириной 400 мм	»	Табл. 5.9	0	0	3	8,5	7	5	5,5	7,5
16	Затухание шума в воздуховоде сечением 400×200 мм, длиной 5 м	»	» 5.8	2	2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
17	Снижение шума в плавном повороте шириной 400 мм	»	» 5.10	0	0	0	1	2	3	3	3
18	Снижение шума в разветвлении ($m' = 1$)	»	Рис. 5.5	3	3	3	3	3	3	3	3
19	Параметр \sqrt{VF}	Гц·м	—	17,8	35,3	70,6	141	282	565	1130	2260
20	Снижение шума в результате отражения от решетки сечением 200×200 мм	дБ	Рис. 5.6	14,5	9,5	5,5	1,5	0	0	0	0
21	Суммарное снижение уровня звуковой мощности	»	Сумма пп. 9—18 и п. 20	31,5	26	25,5	32,5	30	28	29	33
22	Уровни звуковой мощности шума, излучаемого из решетки $L_{p_i} - \Delta L_{p_i}$	»	Разность п. 8—п. 21	63	67	65,5	54	52	47	41	32
23	Фактор направленности Φ шума, излучаемого из решетки ($\theta = 45^\circ$)	—	Рис. 2.11, кривая б	2	2,2	2,5	3,2	3,5	4	4	4
24	Величина $\frac{\Phi}{4\pi r^2}$ ($r = 1,3 \text{ м}$)	—	—	$9,3 \times 10^{-2}$	0,103	0,116	0,149	0,163	0,187	0,187	0,187
25	Величина $\frac{\Phi}{B}$ ($m = 2$)	—	П. 5	0,31	0,33	0,35	0,31	0,25	0,178	0,138	0,1
26	$\frac{\Phi}{4\pi r^2} + \frac{4m}{B}$	—	Сумма п. 24 и п. 25	0,4	0,43	0,47	0,46	0,41	0,365	0,325	0,29
27	$10 \lg \left(\frac{\Phi}{4\pi r^2} + \frac{4m}{B} \right)$	—	—	-4	-3,7	-3,3	-3,4	-3,9	-4,4	-4,9	-5,3
28	Уровни звукового давления в расчетной точке L_i	дБ	Ф-ла (2.16)	59	63	62	51	47	43	36	27
29	Величина $10 \lg n$ ($n = 2$)	»	—	3	3	3	3	3	3	3	3
30	Требуемое снижение уровня звукового давления $\Delta L_{\text{тр}}$	»	Ф-ла (2.23), п. 28—п. 31 + п. 29	—	10	16	10	10	6	2	—
31	Эффективность выбранных глушителей при: $l = 2 \text{ м}$ $l = 1,5 \text{ м}$	» »	Табл. 7.3, п. 3 Табл. 7.4, п. 4	4 4,5	10 12	18 18	27 28,5	28 34,5	18 31,5	11 24	3 18

2000 Гц. На этой частоте допустимый уровень звукового давления, соответствующий нормативной кривой ПС-45 (табл. 2.1, п. 7) с поправкой —5 дБ, согласно примечанию 1 к этой таблице, равен 37 дБ (см. табл. 5.17, п. 3).

Зная объем помещения $V = 5 \times 10 \times 3,5 = 175 \text{ м}^3$, по табл. 2.6, 2.7 и графику на рис. 2.3 (индекс в) находим постоянную помещения B (расчет сведен в пп. 4 и 5 табл. 5.17).

Поправка B [см. формулу (5.4)], зависящая от типа обтекаемого элемента, для решеток равна нулю. По табл. 5.5 для частоты 2000 Гц находим поправку $\Delta L_1 = -8 \text{ дБ}$.

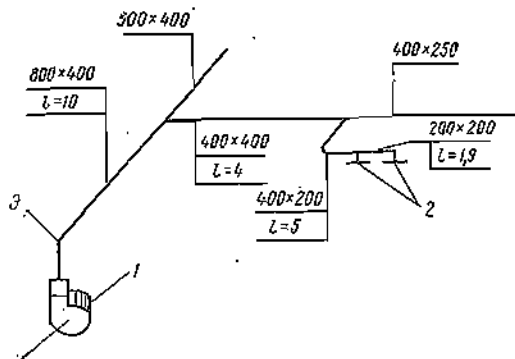


Рис. 5.8. Схема расчетной ветви (м) воздуховодов (к примеру 1)

1 — вентилятор; 2 — жалюзийные решетки 200x200 мм; 3 — плавный поворот

Поправка Δ на расположение источника шума в нашем случае равна нулю. Общее число решеток равно четырем.

Тогда по формуле (5.6) допустимая скорость

$$v_{\text{доп}} = 0,7 \cdot 10^{0,66} = 3,2 \text{ м/с.}$$

Фактическая скорость воздуха в жалюзийной решетке

$$v = \frac{400}{3600 \times 0,2 \times 0,2} = 2,8 \text{ м/с.}$$

Следовательно, шум, генерируемый в решетках, в дальнейшем расчете можно не учитывать.

Общий уровень звуковой мощности шума вентилятора на стороне нагнетания подсчитываем по формуле (5.1):

$$\begin{aligned} L_{P_{\text{общ}}} &= 16 + 25 \lg 700 + 10 \lg \frac{8000}{3600} + 0 = \\ &= 16 + 25 \cdot 2,85 + 10 \cdot 0,35 = 91 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

Октавные уровни звуковой мощности шума вентилятора, излучаемого в сеть, определим по формуле (5.3). Необходимые для этого поправки ΔL_1 находим по табл. 5.2 (п. 6 табл. 5.17). Поправки ΔL_2 определяем интерполированием по табл. 5.3, зная размеры выходного патрубка, и вносим в п. 7 табл. 5.17.

Расчетанные таким образом октавные уровни внесены в п. 8 табл. 5.17.

Снижение уровней звуковой мощности в отдельных элементах вентиляционной сети (см. рис. 5.8) определяем по данным п. 5.4 и вносим в табл. 5.17 (пп. 9—20). Суммарное снижение уровней звуковой мощности шума приведено в п. 21 табл. 5.17.

Уровень звуковой мощности шума вентилятора на выходе из приточной решетки до осуществления мероприятий по снижению шума приведены в п. 22 табл. 5.17.

Расчетанные по формуле (2.16) уровни звукового давления в помещении от рассматриваемой системы при числе решеток $m = 2$ сведены в п. 28 табл. 5.17.

Учитывая, что общее количество вентиляционных систем, обслуживающих помещение (приточная и рециркуляционная), $n = 2$, по формуле (2.23) подсчитываем требуемое снижение уровней звукового давления (данные сведены в п. 30 табл. 5.17).

Чтобы подобрать глушитель, рассчитываем по формуле (7.11) необходимую площадь свободного сечения глушителя $F_{\text{св}}$, предварительно определяя $v_{\text{доп}}$ по табл. 5.14.

Для рассматриваемого помещения допустим предельный спектр шума с индексом ПС-45. Следовательно, $v_{\text{доп}} = 8 \text{ м/с}$.

$$F_{\text{св}} = \frac{Q}{v_{\text{доп}}} = \frac{8000}{3600 \cdot 8} = 0,28 \text{ м}^2.$$

Глушитель можно подобрать по табл. 7.3 (трубчатый) или 7.4 (пластинчатый). При этом длина глушителя и поперечные габариты получаются соответственно:

1. Глушитель по п. 3 табл. 7.3 $l_{\text{тр}} = 2 \text{ м}$;

$$F_{\text{габ}} = 0,65 \times 1,22 = 0,8 \text{ м}^2.$$

2. Глушитель п. 4 табл. 7.4 $l_{\text{тр}} = 1,5 \text{ м}$;

$F_{\text{св}} = 50\%$; $F_{\text{габ}} = 0,56 \text{ м}^2$ (толщина пластин $H = 200$, шаг $h = 200 \text{ мм}$).

Эффективность выбранных вариантов глушителей приведена в п. 31 табл. 5.17.

Для глушителя по табл. 7.4 нужно разрабатывать чертежи пластин (или использовать рабочие чертежи из альбома типовых чертежей серии 4904-18 Центрального института типовых проектов) и чертежи кожуха для размещения в нем пластин.

Пример 2. *Задача.* Рассчитать октавные уровни звуковой мощности шума, излучаемого в воздуховод дроссель-клапаном.

Исходные данные. Диаметр воздуховода 200 мм, угол поворота дроссель-клапана 30° , коэффициент сопротивления $\zeta = 4$, скорость потока воздуха в воздуховоде $v = 7 \text{ м/с}$.

Решение. Сначала подсчитываем общий уровень звуковой мощности шума дроссель-клапана по формуле (5.4):

$$\begin{aligned} L_{P_{\text{общ}}} &= 60 \lg 7 + 30 \lg 4 + 10 \lg (0,785 \times 0,04) + 6 = 60 \times \\ &\times 0,845 + 30 \times 0,6 - 10 \times 1,5 + 6 = 60 \text{ дБ} \end{aligned}$$

Затем по формуле (5.5) рассчитываем безразмерный частотный параметр. Для частоты 125 Гц параметр

$$\bar{f} = \frac{125 \cdot 0,2}{7} = 3,55.$$

Для других частот величины расчетного параметра сведены в п. 1 табл. 5.18. В зависимости от величины частотного параметра по табл. 5.4 находим поправки ΔL_1 , которые сведены в п. 2 табл. 5.18.

Предварительно подсчитав величину квадратного корня из площади воздуховода $\sqrt{F} = \sqrt{0,785 \cdot 0,2^2} = 0,25 \text{ м}$, находим по табл. 5.3 поправки ΔL_2 и вносим их в п. 3 табл. 5.18.

Октавные уровни звуковой мощности шума, излучаемого в воздуховод дроссель-клапаном, определяем по формуле (5.3). Результаты этого расчета сведены в п. 4 табл. 5.18.

№ п. л.	Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Параметр \bar{L}	—	Ф-ла (5.5)	1,8	3,55	7,1	14,3	28,6	57	114	228
2	Поправка ΔL_1	дБ	Табл. 5.4	5	5	5	5,6	6,6	8	11	14,5
3	Поправка ΔL_2	*	5.3	19	13,5	8,5	4	1	0	0	0
4	Октавные уровни звуковой мощности L_p	*	Ф-ла (5.3)	74	68,5	63,5	58,5	54,5	52	49	45,5

Пример 3. Задание. Определить величину требуемого заглушения шума для двух одинаковых приточных вентиляционных систем со стороны забора воздуха из атмосферы и для пяти одинаковых вытяжных систем со стороны выброса воздуха в атмосферу, выбрать мероприятия по снижению шума.

Исходные данные. Вентиляционная камера расположена на техническом этаже лабораторно-конструкторского корпуса. Под вентиляционной камерой размещен конструкторский зал. Расчетная точка О вы-

Данные, характеризующие промежуточные камеры, сведены в табл. 5.19.

Решение. 1. Вытяжные системы. Общий уровень звуковой мощности шума вентилятора на стороне нагнетания подсчитываем по формуле (5.1) и табл. 5.1, приняв $\delta = 0$.

$$L_{p_{\text{общ}}} = 16 + 25 \lg 700 + 10 \lg \frac{8000}{3600} = 16 + 25 \cdot 2,185 + 10 \cdot 0,35 = 91 \text{ дБ.}$$

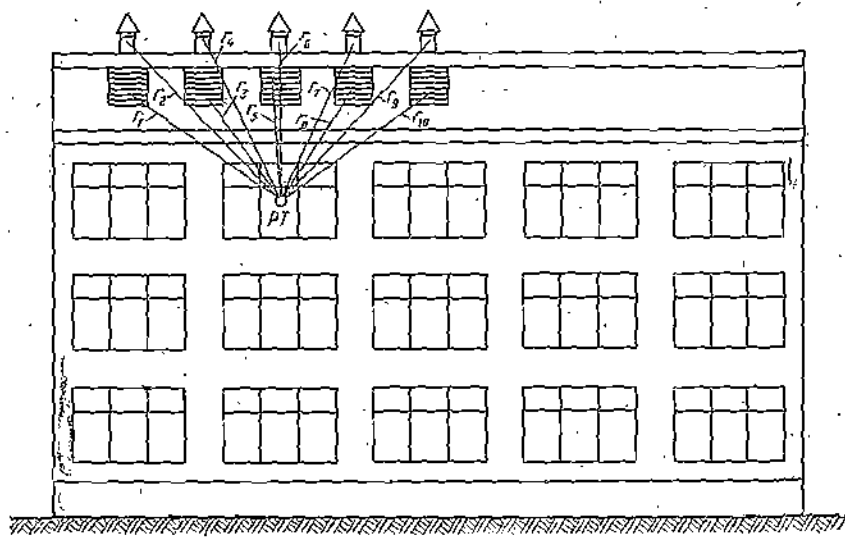


Рис. 5.9. Схема расположения приточных решеток и вытяжных шахт в лабораторно-конструкторском корпусе (к примеру 3)

$r_1=5 \text{ м; } r_2=7 \text{ м; } r_3=4 \text{ м; } r_4=6 \text{ м; } r_5=3 \text{ м; } r_6=5 \text{ м; } r_7=6 \text{ м; } r_8=4 \text{ м; } r_9=7 \text{ м; } r_{10}=5 \text{ м}$

брана на расстоянии 2 м от окна конструкторского зала, снаружи здания (рис. 5.9).

В вытяжных системах установлены вентиляторы Ц4-70 № 6 с объемным расходом $Q = 8000 \text{ м}^3/\text{ч}$, давлением $H = 700 \text{ Па}$ (70 кг/м^2), частотой вращения $n = 1100 \text{ об/мин}$. Размеры выходного патрубка вентилятора $425 \times 425 \text{ мм}$. Режим работы у обоих типов вентиляторов оптимальный. Длина воздуховода от вентилятора до вытяжной шахты 5 м. Воздуховоды металлические размером $400 \times 400 \text{ мм}$.

В приточных системах поставлены вентиляторы Ц4-70 № 12 с объемным расходом $Q = 50000 \text{ м}^3/\text{ч}$, полным давлением $H = 1200 \text{ Па}$ (120 кг/м^2). Частота вращения $n = 600 \text{ об/мин}$. Диаметр входного патрубка 1084 мм .

Общее число приточных и вытяжных отверстий, излучающих шум, $n = 10$ шт. Сечение приточной камеры высотой 3,4 м приведено на рис. 5.10.

Дальнейший расчет представляем в табличной форме (табл. 5.20).

Октавные уровни звуковой мощности шума, получаемого в воздуховод, определяем по формуле (5.3).

Таблица 5.19

№ промежуточной камеры	Площадь поверхности, м ²			Площадь живого сечения отверстий в промежуточных камерах, м ²	
	стены (без проемов)	пол	потолок	входное	выходное
I	38,5	6	6	2,8	2
II	45	12	12	2	2,6
III	38,5	6	6	2,6	3,75
IV	28	5	5	3,75	6

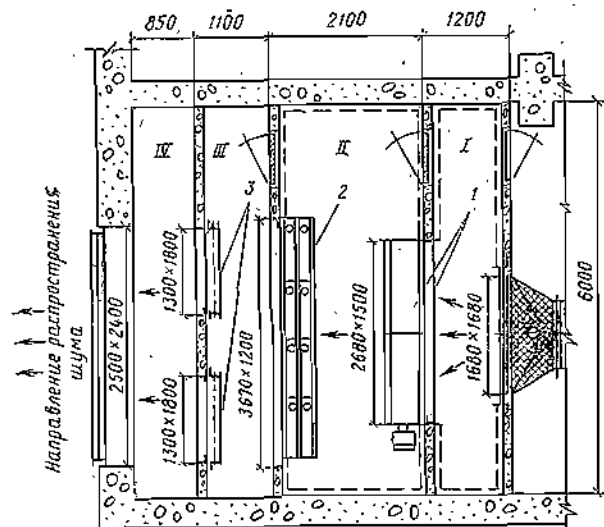


Рис. 5.10. Сечение приточной камеры (к примеру 3)

Необходимые для этого поправки ΔL_1 находим по табл. 5.2. Поправки ΔL_2 определяем интерполированием по табл. 5.3. Снижение уровней звуковой мощности в отдельных элементах вентиляционной сети определяем по данным п. 5.4. По формулам (2.6) и (2.7) определяем уровни звукового давления в расчетной точке

(рис. 5.9), приняв в соответствии с п. 5.3.4 $10 \lg \frac{\Phi_i}{4\pi} = \Delta L_n - 8 \text{ дБ} = 13 \text{ дБ}$ ($\Delta L_n = -5 \text{ дБ}$ по рис. 5.3, а), а среднее расстояние от вытяжных шахт до расчетной точки

$$r_{\text{ср}} = \frac{7+6+5+6+7}{5} = 6,2 \text{ м (см. п. 2.5.5)}$$

Затем, учитывая общее количество вытяжных шахт и приточных решеток ($n = 10$), по формуле (2.23) подсчитываем требуемое снижение уровней звукового давления для каждой системы. При определении $L_{\text{доп}}$ вносим поправки: $\Delta p_1 = -5 \text{ дБ}$, согласно примечанию 1 к табл. 2.3, и $\Delta p_2 = +10 \text{ дБ}$, согласно примечанию 2 к табл. 2.3 (расчетная точка расположена снаружи изолируемого помещения).

Подбираем глушитель по табл. 7.5 (п. 1) гл. 7 с площадью свободного сечения $F_{\text{св}} = 0,24 \text{ м}^2$. Одна секция такого глушителя длиной 1 м обеспечивает требуемое снижение шума.

Примечание. Такой глушитель должен быть установлен в каждой вытяжной системе.

2. *Приточные системы.* Определяем общий уровень звуковой мощности шума, создаваемого вентилятором Ц4-70 № 12 на входе (считая по направлению распространения звука) в приточную камеру I (сторона всасывания) по формуле (5.1) и табл. 5.1:

$$L_{P_{\text{общ}}} = 13 + 25 \lg 1200 + 10 \lg \frac{50000}{3600} + 0 \approx 101,5 \text{ дБ}.$$

Таблица 5.20

№ п. п.	Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Поправка ΔL_1 при $n = 1100 \text{ об/мин}$	дБ	Табл. 5.2	11	7	5	6	9	16	21	25
2	Поправка ΔL_2	»	» 5.3	12,5	7,5	3	0,5	0	0	0	0
3	Октавный уровень звуковой мощности вентилятора L_P	»	Ф-ла (5.3)	92,5	91,5	89	85,5	82	75	70	65
4	Снижение звуковой мощности в металлическом воздуховоде 400 x 400 мм, длиной 5 м	»	Табл. 5.8	2	2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5	Параметр fVF (F — площадь выходного сечения вытяжного воздуховода 0,4 x 0,4 = 0,16 м ²)	—	—	25	50	100	200	400	800	1600	3200
6	Снижение звуковой мощности в результате отражения от конца вытяжного воздуховода	дБ	Рис. 5.6; кривая 2	13	7,5	3	0,5	0	0	0	0
7	Суммарное снижение звуковой мощности ΔL_{P_i}	»	Ф-ла (2.7), п. 4 + п. 6	15	9,5	4	1	0,5	0,5	0,5	0,5
8	Величина 20 лг r_i ($r_i = r_{\text{ср}} = 6,2 \text{ м}$)	—	Рис. 5.9	16	16	16	16	16	16	16	16
9	Затухание звука в атмосфере β_a	дБ/км	—	При r_i менее 50 м не учитывается							
10	Величина ΔL_n	дБ	Рис. 5.3, а	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
11	Величина $\Delta L_n \sim 8$	»	—	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13
12	Сумма ($\Delta L_{P_i} + 20 \lg r_{\text{ср}}$)	»	—	31	25,5	20	17	16,5	16,5	16,5	16,5
13	Уровень звукового давления в расчетной точке L_i	»	Ф-ла (2.6), п. 3—п. 12 + п. 11	48,5	53	56	55,5	52,5	45,5	40,5	35
14	Нормативный уровень звукового давления L_n	»	Табл. 2.3, п. 1 «а»	71	61	54	49	45	42	40	38
15	Δp_1	»	Прим. 1 к табл. 2.3	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
16	Δp_2	»	Прим. 2 к табл. 2.3	10	10	10	10	10	10	10	10
17	$L_{\text{доп}}$	»	Ф-ла (2.2)	76	66	59	54	50	47	45	43
18	Величина $10 \lg n$ ($n = 10$)	»	—	10	10	10	10	10	10	10	10
19	Требуемое снижение уровня звукового давления $\Delta L_{\text{тр}}$	»	Ф-ла (2.23)	—	—	7	11,5	12,5	8,5	5,5	2

Таблица 5.22

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
от стен и потолка (облицованных) звукопоглощение первой камеры	—	Табл. 8.6	0,2	0,47	1	1	1	1	1	1
$A_1 = \alpha S_1$ ($S_1 = 38,5 + 6 = 44,5 \text{ м}^2$)	м ²	—	8,9	21	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5
$S_{\text{вых}}$	»	Табл. 5.19	2	2	2	2	2	2	2	2
$\Delta L_1 = 10 \lg \frac{A_1}{S_{\text{вых}}}$	дБ	—	6,5	10,2	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
$A_2 = \alpha S_2$ ($S_2 = 45 + 12 = 57 \text{ м}^2$)	м ²	—	11,4	25	57	57	57	57	57	57
$S_{2 \text{ вых}}$	»	Табл. 5.19	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
$\Delta L_2 = 10 \lg \frac{A_2}{S_{2 \text{ вых}}}$	—	—	6,5	10,2	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4
$\Delta L_1 + \Delta L_2$	—	Ф-ла (7.2)	13	20,4	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9

Результаты дальнейшего расчета сведены в табл. 5.23. Мощности с учетом поправки приведены в п. 3 табл. 5.23.

Октавные уровни звуковой мощности вентиляторов определяем по формуле (5.2). Необходимые для этого поправки ΔL_1 находим в табл. 5.2 (п. 1 в табл. 5.23). Так как частота вращения вентилятора менее 350 об/мин, то поправки ΔL_1 для нашего случая сдвинуты на две октавы вверх. Рассчитанные октавные уровни внесены в п. 2 табл. 5.23. Вносим поправку +3 дБ, согласно п. 5.2.8. Октавные уровни звуковой

Снижение уровней звуковой мощности в элементах вентиляционной сети определяем по данным пп. 5.4.9, 5.4.10 и 5.4.14. Снижение шума в вентиляторной камере не учитываем. Суммарное снижение звуковой мощности шума, определенное по формуле (2.7), приведено в п. 8 табл. 5.23.

Уровень звукового давления в расчетной точке определяем по формуле (2.6). Затухание звука в атмосфере

Таблица 5.23

№ п. п.	Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Поправка ΔL_1	дБ	Табл. 5.2	9	5	7	10	16	23	30	37
2	Октавный уровень звуковой мощности вентиляторов	»	Ф-ла (5.2)	102	106	104	101	95	88	81	74
3	То же, с поправкой +3 дБ	»	П. 5.2.8	105	109	107	104	98	91	84	77
4	Снижение шума в трех прямоугольных поворотах шириной 4 м:	»	Рис. 5.4	8,5	6,5	5,5	7	7,5	8	8	8
	а) в одном повороте	»	П. 5.4.10	26,5	19,5	16,5	21	22,5	24	24	24
5	Снижение шума в трех поворотах	»	Табл. 5.13	0,04	0,09	0,11	0,15	0,18	0,22	0,27	0,32
6	Снижение шума в капале на длине, равной одному гидравлическому диаметру ($D_r = 4 \text{ м}$)	—	—	0,3	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,6
7	Снижение шума по всей длине ($l = 32 \text{ м}$, $D_r = 8$)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	Снижение шума в вентиляционной камере	дБ	П. 5.4.14	—	3	3	3	3	3	3	3
9	Суммарное снижение уровня звуковой мощности шума	»	Ф-ла (2.7)	26,8	23,2	20,4	25,2	27	28,8	29,1	29,6
10	$20 \lg r$ ($r = 7 \text{ м}$)	»	Рис. 5.3, 6	17	17	17	17	17	17	17	17
11	$10 \lg \frac{\Phi}{S_{\text{пл}}} = \Delta L_{\text{пл}} - 8$ ($\Delta L_{\text{пл}} = 0$)	»	Ф-ла (2.22)	—	4	13	9	6	—	—	—
12	Уровень звукового давления в расчетной точке L	»	Ф-ла (2.6)	53,2	60,8	61,6	53,8	46	37,2	29,9	22,4
13	Допустимый уровень звукового давления $L_{\text{доп}} = L_{\text{в}}$	»	Табл. 2.1, п. 6	67	57	49	44	40	37	35	33
14	Требуемое снижение уровня звукового давления $\Delta L_{\text{тр}} = L - L_{\text{доп}}$	»	Ф-ла (2.22)	—	—	—	—	—	—	—	—
15	Заглушение шума в облицованном повороте	»	Табл. 7.16, п. 3	4	5	5	5	5	5	5	5
16	Необходимое заглушение шума в глушителе $\Delta L_{\text{тр. гл}}$	»	Разность пп. 13 и 14	—	—	8	4	—	—	—	—
17	Заглушение шума на 1 м длины глушителя	»	Табл. 7.6, п. 3	0,6	1,1	2,4	2,8	3	2,9	2,4	1,7
18	Требуемая длина глушителя	м	Ф-ла (5.15)	—	—	2,75	1,33	—	—	—	—

ре не учитываем, так как расстояние от вентиляционного кноса до расчётной точки незначительно. Поправка $\Delta L_H = 0 \text{ дБ}$ (рис. 5.3, б), следовательно,

$$10 \lg \frac{\Phi}{4\pi} = \Delta L_H - 8 = -8 \text{ дБ}.$$

Требуемое снижение шума определяем по формуле (2.22). Для снижения шума предусматриваем устройство звукопоглощающей облицовки на повороте и пластинчатого глушителя, выполненных из бетонных звукопоглощающих блоков и устанавливаемых в верхнем вентиляционном канале. Заглушение шума в облицованном повороте (облицовка толщиной 360 мм выполнена по схеме п. 3 табл. 7.16: 180 мм звукопоглощающий материал и 180 мм воздушный промежуток) заносим в п. 14 табл. 5.23.

Необходимое заглушение в пластинчатом глушителе $\Delta L_{\text{тр.гл}}$ (см. п. 15 табл. 5.23) находим как разность между требуемым снижением шума и его заглушением в повороте (разность пп. 13 и 14).

Пластинчатый глушитель выполняем с закругленными пластинами толщиной 360 мм. Расстояние между пластинами 850 мм. Заглушение на 1 м длины глушителя берем по табл. 7.6 (п. 3) и заносим в п. 16 табл. 5.23. Требуемую длину глушителя (п. 17 табл. 5.23) определяем по формуле (5.15), подставив вместо $\Delta L_{\text{тр}}$ значения $\Delta L_{\text{тр.гл}}$ из п. 15 табл. 5.23.

Принимаем к установке глушитель длиной 3 м. Гидравлическое сопротивление пластинчатого глушителя определяем по формуле (5.17).

Скорость воздуха в канале перед глушителем

$$v = \frac{2 \cdot 150 \cdot 000}{3600 \cdot 4 \cdot 4} = 5,2 \text{ м/с}.$$

При

$$\frac{F_{\text{св}}}{F_{\text{габ}}} = \frac{3 \cdot 0,85 \cdot 4}{4 \cdot 4} = 0,63$$

коэффициент местного сопротивления для закругленных пластин $\xi \approx 0,6$ (табл. 5.15).

Коэффициент трения λ при

$$D_r = \frac{4F}{P} = \frac{4 \cdot 0,85 \cdot 4}{2(4 + 0,85)} = 1,4 \text{ м}$$

равен 0,025 (табл. 5.16).

Гидравлическое сопротивление глушителя по формуле (5.17)

$$H_{\text{гл}} = \left(0,6 + 0,025 \frac{3}{1,4} \right) \frac{5,2^2 \cdot 1,2}{2} = 0,653 \cdot 16,2 = 10,5 \text{ Па (1,05 кгс/м}^2\text{)},$$

что меньше предельной величины 15 Па (1,5 кгс/м²).

6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Современные мощные газодинамические и энергетические установки, испытательные стенды турбореактивных (ТРД), турбовинтовых (ТВД) двигателей, газотурбинные установки (ГТУ), лабораторные и экспериментальные стенды, компрессорные станции и др. являются источниками интенсивного шума. Этот шум через газозвудушные каналы или шахты распространяется в атмосферу. Жилые районы или отдельные здания, находящиеся за пределами территории предприятий, а также здания и объекты с нормируемым уровнем шума, расположенные на заводских территориях (производственные корпуса, конструкторские бюро, вычислительные центры, административные здания и т. п.), должны быть защищены от этого шума.

Снижение шума таких установок обычно осуществляется благодаря применению специальных шумоглушащих устройств, располагаемых по пути распространения шума от источника в атмосферу (в газозвудушных трактах).

Проектирование шумоглушащих устройств для газодинамических установок, в частности определение требуемого снижения шума, должно быть основано на акустическом расчете. Дополнительная сложность проектирования шумоглушащих устройств для таких установок состоит в том, что эти устройства не должны влиять на параметры самих установок и поэтому за редким исключением не должны вносить больших дополнительных гидравлических потерь в газозвудушный тракт. Кроме того, в ряде случаев необходимы мероприятия по снижению скорости и температуры газозвудушного потока до таких величин, при которых была бы обеспечена стойкость шумоглушащих конструкций, в частности не происходили бы эрозия и выветривание звукопоглощающего наполнителя. Скорость газозвудушного потока должна быть ограничена еще и потому, что при определенных условиях поток может влиять на акустическую эффективность глушителей.

Учитывая сложность проектирования и высокую стоимость шумоглушащих устройств для крупных газодинамических установок, необходимо в самом начале проектирования, т. е. уже при составлении генерального плана застройки, предусматривать меры, облегчающие снижение шума наиболее мощных источников. Для этого установки, излучающие наиболее интенсивный шум, следует удалять на возможно большие расстояния от зданий, защищаемых от шума. Выходные отверстия таких установок следует ориентировать в сторону, противоположную зданиям, в которых нормативные требования к шуму наиболее жестки. Здания, расположенные на территории промышленной площадки, должны размещаться таким образом, чтобы окна помещений, в которых нормируются уровни шума, не были ориентированы в сторону наиболее мощных источников шума. Не следует также тихие помещения (типа конторских) встраивать в корпуса, где расположены газодинамические установки.

6.2. КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ

6.2.1. Основные источники шума на компрессорной станции — всасывающий тракт и система перепуска (сброса) воздуха в атмосферу (выхлопной тракт). Через отверстия всасывающих и выхлопных воздуховодов шум проникает на территорию, прилегающую к компрессорной станции.

Таблица 6.1
Уровни звуковой мощности компрессоров, дБ

Тип компрессора	Диаметр воздуховода, мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц						
		63	125	250	500	1000	2000	4000

Всасывающие воздуховоды от компрессора низкого давления								
ВП-10/8	180—250	120	117	104	102	97	93	84
2ВП-10/8	180—250	120	117	104	102	97	90	86
200В-10/8	180—250	120	117	104	102	97	90	86
ВП-20/8	180—250	119	118	109	102	94	87	83
160В-20/8	180—250	119	118	109	102	94	87	83
205ВП-30/8	300	121	127	117	103	100	94	90
ВП-50/8	400	122	124	115	110	99	98	94
5Г-100/8	400	124	112	101	93	99	96	91
2СА-25	250	111	106	96	95	87	80	76
2СГ-50	250	110	108	102	97	85	86	78

Всасывающие воздуховоды от компрессора высокого давления и турбокомпрессоров								
2РК-1,5/220	50	105	103	97	86	80	75	71
2Р-3/220	100	105	103	97	86	80	75	71
3Р-7/220	150	105	103	97	86	80	75	71
5Г-14/220	200	100	95	84	81	75	72	67
3Г-100/220	600	119	110	107	100	92	85	77
50Т-130/200	600	110	110	107	100	92	85	77
2РВ-3/350	180	110	111	96	91	86	82	77
2РВ-3,4/400	200	116	119	109	92	87	86	83
К-250-61	600	84	79	83	82	94	99	98
ОК-500-92	900	102	100	95	96	104	111	107
К-345-91	600	102	100	95	96	104	111	107

Выхлопные воздуховоды от компрессора низкого давления								
ВП-10/8	70	112	112	92	85	109	110	105
2ВП-10/8	70—90	112	112	92	85	109	110	105
200В-10/8	70—90	112	112	92	85	109	110	105
ВП-20/8	90	104	111	104	102	110	107	105
160В-20/8	90—150	104	111	104	102	110	107	105
205ВП-30/8	90	106	108	117	118	115	109	106
ВП-50/8	90	106	108	117	118	115	109	106
5Г-100/8	100	107	105	104	114	123	126	128
2СА-25	70	103	97	96	93	86	102	110
2СГ-50	70	124	117	114	107	116	124	129

Выхлопные воздуховоды от компрессора высокого давления и турбокомпрессоров								
2РК-1,5/220	35—40	110	106	113	122	131	130	132
2Р-3/220	50	108	112	117	122	128	128	127
3Р-7/220	50	103	115	118	121	125	126	120
5Г-14/220	80	108	112	117	123	128	128	127
3Г-100/220	100	111	113	122	132	143	141	138
50Т-130/200	100	106	110	121	127	134	135	136
2РВ-3/350	100	108	112	109	109	116	118	121
2РВ-3,4/400	25	108	112	109	109	115	118	121
К-250-61	250	119	117	120	124	124	130	133
ОК-500-92	350	122	132	128	126	128	133	128
К-345-91	200	127	130	129	132	140	141	140

Октавные уровни звуковой мощности шума, излучаемого в атмосферу компрессорами и турбокомпрессорами различного типа, приведены в табл. 6.1.

6.2.2. Ожидаемые уровни звукового давления в расчетных точках на территории компрессорной станции определяют по формуле (2.3), причем Φ_0 принимается равным 2.

Требуемое снижение шума от каждого источника шума (всасывающего или выхлопного воздуховода) определяют в соответствии с п. 2.5.

6.2.3. Глушители для компрессорных и турбокомпрессорных установок проектируют в соответствии с пп. 7.1 и 7.9.

Глушители шума компрессорных станций устанавливают на выходе всасывающих и выхлопных воздуховодов в атмосферу. Поэтому при проектировании глушителя следует учитывать конечную поправку на присоединение глушителя ΔL_k , а глушитель подбирать с таким расчетом, чтобы его эффективность во всем диапазоне частот удовлетворяла соотношению

$$\Delta L_{\text{эф}} \geq \Delta L_{\text{тр}} + \Delta L_k. \quad (6.1)$$

Необходимость внесения поправки связана с тем, что уровни звуковой мощности, излучаемой из воздуховода в атмосферу, меньше тех, которые попадают в присоединенный глушитель на величину ΔL_k (ΔL_k — поправка на отражение от открытого конца воздуховода).

Величину поправки ΔL_k для воздуховодов различных размеров определяют по табл. 6.2.

Пример (1) расчета требуемого снижения шума и подбора глушителей для компрессорных станций дан в конце главы.

Таблица 6.2

Поправка ΔL_k на присоединение глушителя, дБ

Корень квадратный из площади поперечного сечения конца воздуховода \sqrt{F} , мм	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
25	37	31	25	19	13	8	3	0	
40	32	26	20	14	8	4	1	0	
50	31	26	20	14	8	4	0	0	
60	29	23	16	11	6	2	0	0	
70	27	21	15	10	5	1	0	0	
80	26	20	14	8	4	1	0	0	
90	25	19	13	8	3	0	0	0	
100	24	18	12	7	3	0	0	0	
125	21	16	11	6	2	0	0	0	
140	21	16	10	5	1	0	0	0	
160	19	14	9	4	1	0	0	0	
180	19	13	8	4	1	0	0	0	
200	18	13	7	3	1	0	0	0	
225	17	11	7	2	0	0	0	0	
250	16	11	6	2	0	0	0	0	
280	15	10	5	1	0	0	0	0	
300	14	9	4	1	0	0	0	0	
350	14	8	4	1	0	0	0	0	
400	12	7	3	0	0	0	0	0	
500	11	6	2	0	0	0	0	0	
600	9	4	1	0	0	0	0	0	
800	7	3	1	0	0	0	0	0	
900	7	3	0	0	0	0	0	0	
1000	6	2	0	0	0	0	0	0	
1250	4	1	0	0	0	0	0	0	
1400	4	1	0	0	0	0	0	0	
1600	3	0	0	0	0	0	0	0	

Примечания: 1. Значения поправки ΔL_k для промежуточных значений определяют интерполированием.

2. Поправку ΔL_k вносят в тех случаях, когда площадь отверстия (воздуховода, шахты), через которое шум излучается в атмосферу, меньше 2 м^2 .

6.3. ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ¹

6.3.1. Стационарные газотурбинные установки (ГТУ), используемые для привода электрогенераторов на электростанциях или нагнетателей на магистральных газопроводах, являются источником чрезвычайно интенсивного шума. Через воздухозаборные тракты, трубопроводы от противоположных клапанов, газоходы отработанных газов шум ГТУ выходит в атмосферу, что вызывает значительное увеличение шумового фона в жилых районах.

Основным источником шума является канал всасывания ГТУ. Шум всасывания создается акустическим излучением осевого компрессора, так как шумообразование от потока во всасывающем тракте невелико из-за относительно малой скорости течения. Характер шума — аэродинамический. Источник шума — переменные аэродинамические силы, действующие на различные омываемые потоком элементы конструкции компрессора.

Шум всасывания осевого компрессора, как правило, высокочастотный с ярко выраженными дискретными составляющими на «лопаточной» частоте и ее гармониках:

$$f_m = \frac{zn}{60} \pi \Gamma \text{ Гц}, \quad (6.2)$$

где z — число лопаток рабочего колеса первой ступени компрессора; n — частота вращения ротора в 1 мин; m — номер гармоники (1, 2, 3, ...).

6.3.2. Общую звуковую мощность шума всасывания дозвукового осевого многоступенчатого компрессора стационарной ГТУ определяют с достаточной для практики точностью по формуле

$$P = 0,5 \left(\frac{1 - \eta_{\text{ад}}}{\eta_{\text{ад}}} \right)^2 \frac{m^2 H_{\text{ад}}^2}{\rho c^3 D^2} Bm, \quad (6.3)$$

где $\eta_{\text{ад}}$ — адиабатический к. п. д. первой ступени компрессора; m — массовый расход через компрессор, кг/с; $H_{\text{ад}}$ — адиабатический напор первой ступени компрессора, Дж/кг; ρ — плотность воздуха на входе в компрессор, кг/м³; c — скорость звука, определяемая по графику (рис. 7.18) в зависимости от температуры воздуха на входе в ступень, м/с; D — наружный диаметр рабочего колеса первой ступени, м.

Все эти величины известны из аэродинамических расчетов или соответствующих испытаний компрессора.

Для очень грубой оценки звуковой мощности шума всасывания осевых компрессоров можно рекомендовать величину 1 Вт на 1 кг/с расхода воздуха через компрессор.

Общий уровень звуковой мощности шума всасывания L_{P_0} определяют по формуле

$$L_{P_0} = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (6.4)$$

где $P_0 = 10^{-12} \text{ Вт}$, стандартное пороговое значение звуковой мощности.

6.3.3. Для определения ожидаемого спектра уровней звуковой мощности на рис. 6.1 приведен расчетный относительный спектр шума всасывания компрессора. На оси абсцисс отложено значение безразмерной частоты f_n , где f — частота 1/3-октавной полосы, Гц; n — частота вращения в 1 мин.

По оси ординат отложены значения разности общего уровня звуковой мощности и уровней в 1/3-октавных полосах спектра (ΔL_{P_i}). Горизонтальные участки ло-

¹ По данным С. М. Кузнецова.

мальной кривой спектра соответствуют величине ΔL_{pi} на среднегеометрических частотах 1/3-октавных полос.

Составляющие относительного спектра звуковой мощности всасывания компрессора ΔL_{pi} , ΔB , определяются для 1/3-октавных среднегеометрических частот f в такой последовательности: по известному числу лопаток рабочего колеса первой ступени компрессора z из соотношения (6.2) определяют частоты тармоник f_1 , f_2 и f_3 , т. е. частоты первой для $f_1 = z$, второй для $f_2 = 2z$ и третьей для $f_3 = 3z$ составляющей тонального

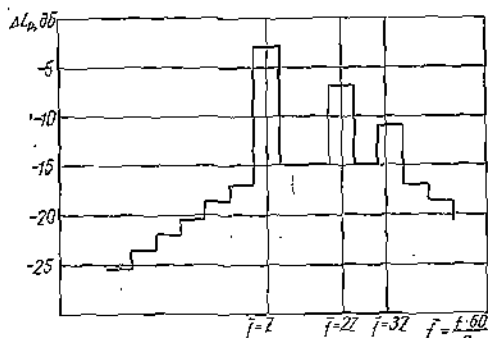


Рис. 6.1. Относительный спектр звуковой мощности шума всасывания компрессора

шума компрессора. В соответствии с табл. 2.1 находят среднегеометрические частоты f 1/3-октавных полос, в которых располагаются дискретные составляющие шума, а по рис. 6.1 — значения ΔL_{pi} .

Для других среднегеометрических частот f 1/3-октавных полос, лежащих ниже, между или выше дискретных, определяют в зависимости от величины $f = f_0/n$ значения ΔL_{pi} по горизонтальным участкам кривой относительного спектра (см. рис. 6.1).

Уровни звуковой мощности, излучаемой в сторону всасывания в каждой 1/3-октавной полосе частот, определяют по формуле

$$L_{pi} = L_{p0} + \Delta L_{pi} \text{ дБ.} \quad (6.5)$$

Для дальнейших акустических расчетов полученный 1/3-октавный спектр уровней звуковой мощности пересчитывают в октавный энергетическим суммированием уровней на частотах, соответствующих 1/3-октавным полосам частот, входящим в октавную полосу (по табл. 1.3).

Пример (2) расчета звуковой мощности шума всасывания компрессора дан в конце главы.

6.3.4. Со стороны выхлопа ГТУ шум значительно меньше шума всасывания. Это объясняется почти полным срабатыванием энергии рабочего тела в газовой турбине и потерями звуковой мощности в выхлопном тракте (газоходах, теплофикационных подогревателях, регенераторе, поворотах, дымовой трубе). В настоящее время нет данных по звуковой мощности шума выхлопа ГТУ.

6.3.5. Наиболее шумными из вспомогательного оборудования ГТУ являются противонасосные клапаны, которые действуют кратковременно при пуске или аварийной остановке ГТУ. При сбросе воздуха через клапаны возникает аэродинамический шум, имеющий широкополосный характер без резко выраженных максимумов и резко возрастающий в момент прикрытия клапана.

6.3.6. Уровни звуковой мощности основных источников шума ГТУ, полученные в результате натурных измерений, приведены в табл. 6.3, 6.4 и 6.5.

6.3.7. Определение требуемого заглушения шума, подбор и проектирование глушителей для газотурбинных установок производят так же, как для компрессорных станций (см. лп. 6.2.2 и 6.2.3).

Таблица 6.3

Уровни звуковой мощности шума всасывания энергетических газотурбинных установок, дБ

Модель ГТУ	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ГТ-50-800	115	110	116	121	129	141	140	131
ГТ-95-700	—	—	119	122	129	140	129	123
ГТ-700-12М	98	99	102	108	123	137	132	122
ГТ-100-750	130	129	131	135	151	146	143	135

Таблица 6.4

Уровни звуковой мощности шума (дБ), получаемого противонасосными клапанами (ПК)

Модель ГТУ и режим работы ПК	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ГТ-50-800:								
ПК высокого давления (прикрыты)	121	128	135	140	141	139	138	134
ПК высокого давления	115	118	119	121	121	118	115	111
ПК среднего давления	116	117	115	116	116	115	109	104
ГТ-25-700:								
ПК высокого давления	114	123	126	129	132	130	131	127
ГТ-100-750:								
нагрузка 70 мВт (ПК не полностью открыты)	124	127	145	147	149	150	149	146

Таблица 6.5

Уровни звуковой мощности шума (дБ), излучаемого агрегатами ГТУ в машинный зал

Модель ГТУ	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ГТ-50-800 (агрегаты покрыты теплоизоляцией)	118	119	109	108	113	120	120	116
ГТ-25-700 (агрегаты покрыты теплоизоляцией)	112	108	101	103	105	113	110	107
ГТ-700-12М (без теплоизоляции)	113	112	109	110	112	117	120	115
ГТ-100-750 (без звукоизолирующего кожуха)	117	120	110	111	112	118	118	117

6.4. СТЕНДЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

6.4.1. Основным источником шума ТРД — реактивная выхлопная струя.

Шум выхлопной струи распространяется по газовой среде эжекторной трубы, через которую осуществляется выхлоп газовой смеси, в атмосферу, а также через зазор между соплом двигателя и эжекторной трубой в помещение бокса и далее через шахты всасывания и подсоса в атмосферу (рис. 6.4).

В основу расчета звуковой мощности шума со стороны выхлопа бокса ТРД положен расчет шума реактивной выхлопной струи, основанный на теории Лайтхила, работах Мунина, Власова и др. (см. пп. 2.7.2—2.7.5).

6.4.2. Общий уровень звуковой мощности струи L_{P_0} , дБ, в дальнейшем звуковом поле определяют по формуле

$$L_{P_0} = 80 \lg v_0 + 20 \lg \rho_0 + 10 \lg F_0 - 44 \text{ дБ.} \quad (6.6)$$

где v_0 — скорость истечения газа из сопла, м/с;

ρ_0 — плотность струи в выходном сечении сопла, кг/м³;

F_0 — площадь сопла, м².

Чтобы вычислить L_{P_0} по формуле (6.6), входящие в формулу величины ρ_0 , v_0 и F_0 необходимо выразить через параметры двигателя: G — массовый расход газа на срезе сопла, кг/с; $P_{0,c}$ — полное давление на срезе сопла, Па и T_c^* — температуру торможения струи на срезе сопла, °К. Эти величины задаются как исходные данные при проектировании установок шумоглушения.

Для определения величин ρ_0 , v_0 и F_0 можно использовать таблицы газодинамических функций¹, в которых для определенного значения изэнтропического показателя струи $\chi = c_p/c_v$ дается связь таких газодинамических параметров, как $\lambda = v_0/v_{кр}$ — отношение скорости истечения газа к критической скорости; $\pi(\lambda_c) = P_{ст}/P_{0,c}$ — отношение статического давления движущегося газа к давлению заторможенного потока; $\epsilon(\lambda_c) = \rho/\rho_0$ — отношение плотности движущегося газа к плотности заторможенного потока и др. Эти таблицы построены для трех значений изэнтропического показателя струи $\chi = 1,4$; 1,33 и 1,25.

При расчете звуковой мощности выхлопной струи изэнтропический показатель выбирают в зависимости от температуры торможения струи T_c^* на срезе сопла (табл. 6.6).

Таблица 6.6
Зависимость изэнтропического показателя от температуры торможения

$T_c^*, ^\circ\text{К}$	$(\chi = c_p/c_v)$
273—800	1,4
800—2500	1,33
2500 и выше	1,25

Коэффициент скорости λ_c , который необходим для определения величин $P_{0,c}$ и v_0 , находят по таблицам газодинамических функций в зависимости от значения функции $\pi(\lambda_c)$, которая при докритическом истечении струи определяется как отношение статического давления на срезе сопла $P_{ст}$ (принимается равным давлению в окружающей среде) к полному давлению на срезе сопла $P_{0,c}$ при торможении струи:

$$\pi(\lambda_c) = \frac{P_{ст}}{P_{0,c}}, \quad (6.7)$$

¹ Дименгтова А. А. и др. Таблицы газодинамических функций. М., Машиностроение, 1966.

Примечания: 1. Для струй, истекающих в свободное пространство, $P_{ст} = 103\,300$ Па; для струй, истекающих в высотные барокамеры, $P_{ст}$ принимается равным давлению, созданному в барокамере.

2. В случаях когда значение λ_c получается больше 1, но меньше 1,6, его принимают равным 1.

Плотность струи определяют по формуле

$$\rho_0 = \frac{\epsilon(\lambda_c) P_{0,c}}{RT_c^*} \text{ кг/м}^3, \quad (6.8)$$

где λ_c — коэффициент скорости; R — газовая постоянная смеси, равная 287 Дж/кг·град; $\epsilon(\lambda_c)$ — определяют по таблицам газодинамических функций.

Скорость истечения струи из сопла двигателя подсчитывают по формуле

$$v_0 = \bar{A} \lambda_c \sqrt{T_c^*} \text{ м/с.} \quad (6.9)$$

Величину \bar{A} выбирают в зависимости от изэнтропического показателя χ (табл. 6.7).

Таблица 6.7
Зависимость параметра \bar{A} от изэнтропического показателя

χ	\bar{A}
1,4	18,3
1,33	18,1
1,25	17,9

Площадь сопла двигателя определяют по формуле

$$F_0 = \frac{G}{\rho_0 v_0} \text{ м}^2. \quad (6.10)$$

где G — массовый расход газа на срезе сопла, кг/с; ρ_0 — плотность газов, определяемая по формуле (6.8), кг/м³;

v_0 — скорость истечения газов, определяемая по формуле (6.9), м/с.

6.4.3. Спектр звуковой мощности выхлопной струи двигателя ТРД можно определять, пользуясь относительным спектром, представленным на рис. 6.2, как зависимость значений

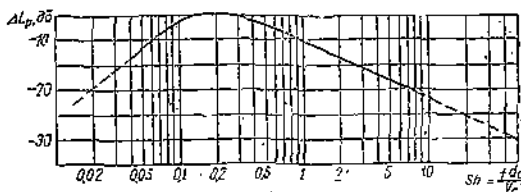


Рис. 6.2. Относительный спектр звуковой мощности на выхлопе ТРД (для октавных полос шума)

тельным спектром, представленным на рис. 6.2, как зависимость значений

$$\Delta L_P = L_P - L_{P_0} \quad (6.11)$$

для октавных полос шума от безразмерного параметра — числа Струхала:

$$Sh = \frac{f d_c}{v_c}, \quad (6.12)$$

где ΔL_P — разность между уровнем звуковой мощности в октавной полосе L_P и общим уровнем звуковой мощности L_{P_0} ; f — средняя частота октавной полосы шума, Гц; d_c — диаметр сопла, м (задается или опреде-

ляется по найденному значению площади сопла F_0 ; v_0 — скорость истечения струи, м/с.

Составляющие спектра звуковой мощности в октавных полосах частот определяют по формуле

$$L_P = L_{P_0} + \Delta L_P \text{ дБ.} \quad (6.13)$$

Пример (3) расчета спектра звуковой мощности шума на выходе ТРД дан в конце главы.

6.4.4. Исходные уровни звуковой мощности шума, излучаемого в атмосферу через шахту всасывания и подсоса, принимаются такими же, как на входе в шахты.

Шум, поступающий во всасывающую шахту, определяется той частью звуковой мощности шума выхлопной струи, которая излучается в бокс. Звуковая

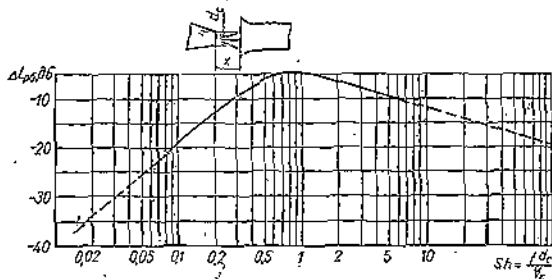


Рис. 6.3. Относительный спектр звуковой мощности шума, излучаемого в бокс при $x/d_0 = 1 \div 1,5$ (для октавных полос)

мощность и спектр шума, излучаемого в бокс, определяются открытым начальным участком газовой струи между соплом двигателя и входным сечением эжектора.

Звуковая мощность P , излучаемая начальным участком струи, зависит от отношения x/d_0 , где x — расстояние от среза сопла до входного сечения элемента; d_0 — диаметр сопла.

Общий уровень звуковой мощности шума, излучаемого в бокс, определяют по формуле

$$L_{P_{0,6}} = L_{P_0} - \Delta \text{ дБ.} \quad (6.14)$$

При $x/d_0 \approx 1$ принимается $\Delta = 10$ дБ;
» $x/d_0 \approx 1,5$ » $\Delta = 7$ ».

Спектр звуковой мощности шума, излучаемого в бокс, также отличается от спектра звуковой мощности выхлопной струи двигателя.

В октавных полосах частот уровни звуковой мощности шума, излучаемого в бокс, определяют по формуле

$$L_{P_0} = L_{P_{0,6}} + \Delta L_{P_0} \text{ дБ,} \quad (6.15)$$

где ΔL_{P_0} — разность между общим уровнем звуковой мощности и уровнем в октавной полосе, дБ; при $x/d \approx 1 \div 1,5$ определяется по графику на рис. 6.3. Для других отношений x/d_0 относительный спектр звуковой мощности следует устанавливать экспериментально.

Примечание. Так как при увеличении отношения x/d_0 общий уровень звуковой мощности шума, излучаемого в бокс, будет увеличиваться, а спектр будет обогащаться низкочастотными составляющими, не рекомендуется выбирать расстояние между соплом и эжекторной трубой больше, чем 1,5 диаметра сопла (диаметр сопла может изменяться в зависимости от режима работы двигателя), во всех случаях, когда это не оказывает влияния на тягу двигателя.

6.4.5. Октавные уровни звуковой мощности шума, поступающего в шахту всасывания, рассчитывают по формулам:

для необлицованных боксов

$$L_{P_{вс}} = L_{P_0} - 10 \lg B + 10 \lg S_{вс} \text{ дБ;} \quad (6.16)$$

для боксов со звукопоглощающей облицовкой стен и потолка

$$L_{P_{вс}} = L_{P_0} - 10 \lg B + 10 \lg S_{вс} - 5 \text{ дБ,} \quad (6.17)$$

где B — постоянная помещения испытательного бокса (м²); определяется по п. 2.4.5; $S_{вс}$ — площадь входного сечения шахты всасывания со стороны бокса, м².

6.4.6. Уровни звуковой мощности шума, поступающего в шахту подсоса, определяют расчетом. Источником шума, как и в предыдущем случае, является открытый участок выхлопной струи, расположенный в зоне подсоса (см. схему на рис. 6.4). При расчете уровней звуковой мощности шума, поступающего в шахту подсоса, учитывается мощность прямого и отраженного звука:

$$L_{P_{подс}} = L_{P_0} + 10 \lg \left(\frac{1}{2\pi r^2} + \frac{1}{B} \right) + 10 \lg S_{подс} \text{ дБ,} \quad (6.18)$$

где r — расстояние от средней точки на оси открытой части струи до входного сечения шахты подсоса, м (рис. 6.4); B — то же, что в формуле (6.17); $S_{подс}$ — площадь входного сечения шахты подсоса, м².

6.4.7. Для двухконтурных ТРД с большой степенью двухконтурности при определении октавных уровней звуковой мощности шума, поступающего во всасывающую шахту, необходимо учитывать шум компрессора

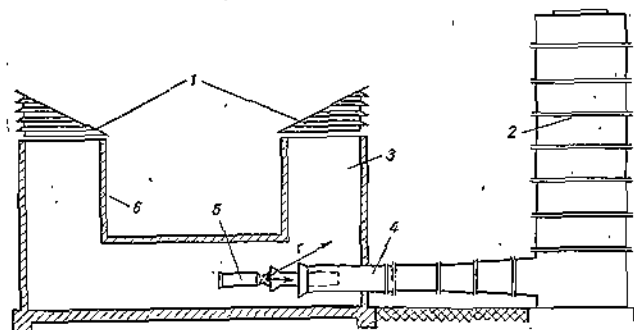


Рис. 6.4. Схема испытательного бокса

1 — жалюзи; 2 — глушитель выхлопа; 3 — шахта подсоса; 4 — эжекторная труба; 5 — двигатель; 6 — шахта всасывания

L_{P_K} . В этом случае расчет $L_{P_{вс}}$ следует производить по формулам:

для необлицованного бокса

$$L_{P_{вс}} = 10 \lg (10^{0,1 L_{P_0}} + 10^{0,1 L_{P_K}}) - 10 \lg B + 10 \lg S_{вс} \text{ дБ,} \quad (6.19)$$

для боксов со звукопоглощающей облицовкой стен и потолка

$$L_{P_{вс}} = 10 \lg (10^{0,1 L_{P_0}} + 10^{0,1 L_{P_K}}) - 10 \lg B + 10 \lg S_{вс} - 5 \text{ дБ.} \quad (6.20)$$

где L_{P_0} — уровень звуковой мощности шума, дБ, излучаемого в бокс открытым участком выхлопной струи; определяется по формуле (6.15); L_{P_K} — уровень звуковой мощности шума, дБ, излучаемого в бокс компрессором всасывания; определяется по пп. 6.3.2 и 6.3.3;

B — постоянная помещения бокса, m^2 ; определяется по п. 2.4.5.; $S_{вс}$ — площадь входного сечения (m^2) всасывающей шахты (со стороны бокса).

Для шахты подсоса расчет в этом случае производят по формуле

$$L_{рподс} = 10 \lg \left[\frac{10^{0,1L_{рв}}}{2\pi^2} + \frac{(10^{0,1L_{рв}} + 10^{0,1L_{рк}})}{B} \right] + 10 \lg S_{подс} \delta B. \quad (6.21)$$

Примечание. Для нахождения величин вида $10^{0,1L_{р}}$ в формулах (6.19)–(6.21) можно пользоваться табл. 2.8.

6.4.8. Требуемое снижение шума при проектировании установок шумоглушения боксов ТРД определяют по методике, изложенной в п. 2.5, а уровни звукового давления в расчетных точках — в соответствии с п. 2.4.2.

На различных режимах работы установки будет различным и требуемое снижение шума. В случаях когда возможна длительная работа на форсажном режиме (более 1 ч в смену), расчет $\Delta L_{тр}$ ведется для этого режима, в остальных случаях — для номинального или взлетного режима.

6.4.9. Шумоглушающие устройства для боксов ТРД проектируют в соответствии с указаниями п. 7.9. При этом относительное проходное сечение глушителей подбирается таким, чтобы при заданных поперечных размерах шахт, в которых устанавливаются или подвешиваются шумоглушающие элементы, абсолютная площадь живого сечения была достаточна для обеспечения допустимой скорости потока. Допустимая скорость в глушителях всасывания и подсоса и количество засасываемого воздуха определяют аэродинамическим расчетом бокса в целом, исходя из допустимого разрежения в нем и требуемого коэффициента эжекции в выхлопной системе. Допустимую скорость выхлопа в глушителе определяют в соответствии с п. 7.8.

Чтобы обеспечить удовлетворительные гидравлические условия в выхлопной системе бокса ТРД, шумоглушающие устройства выхлопа проектируют на основании не только акустического, но и аэродинамического расчета. По аэродинамическому расчету подбирают эжектирующую систему. Правильно подобранная эжектирующая система обеспечивает полное смешение газов и эжектируемого воздуха в конце эжекторной трубы и такой коэффициент эжекции, при котором температура и скорость газовойздушной смеси в глушителе не превышают допустимых. Расчетные температуры и скорость достигаются в случае, если избыточное давление в конце эжекторной трубы примерно равно полному гидравлическому сопротивлению проточной части бокса, включая глушители всасывания и выхлопа.

Допустимую температуру газовойздушной смеси определяют из условий стойкости и долговечности работы шумоглушающих систем, в первую очередь звукопоглощающего наполнителя и металлических конструкций. Эта температура на основании накопленного опыта эксплуатации шумоглушающих конструкций принимается обычно равной $350^\circ C$.

Пример (4) расчета требуемого снижения шума и подбора глушителей при проектировании боксов ТРД дан в конце главы.

6.5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Задание. Определить требуемую длину и тип глушителя на всасывающие и выхлопные (на перепуске) воздухопроводы, выходящие в атмосферу, если ближайшее здание (производственный корпус с лабораторными помещениями) расположено на расстоянии около

Таблица 6.8

Тип компрессора	Объемный расход, m^3/c	Воздуховод	Количество	Диаметр воздуховода, мм
2РВ-3/350	0,05	Выхлопной (перепуск)	1	100
		Всасывающий	2	180
205ВП-30/8	0,5	Выхлопной (перепуск)	1	90
		Всасывающий	4	300

28 м от компрессорной станции, работающей днем (рис. 6.5).

Исходные данные. Проектируемая компрессорная станция оборудована компрессорами типа 2РВ-3/350 (2 шт.) и 205ВП-30/8 (4 шт.) с заданными параметрами, приведенными в табл. 6.8.

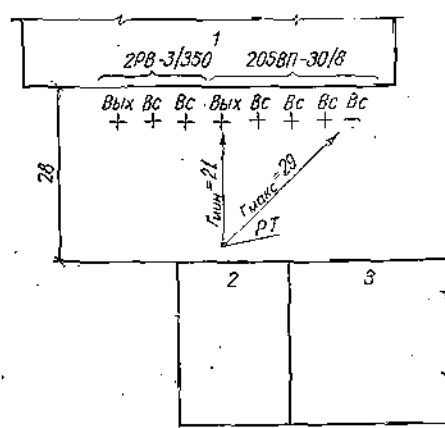


Рис. 6.5. Схема расположения компрессорной станции

1 — компрессорная станция; 2 — лаборатория без источников шума; 3 — производственный корпус; РТ — расчетная точка (размеры в м)

Суммарное время, в течение которого выбрасывается воздух через выхлопные воздухопроводы, не превышает 1 ч в смену. Расчетная точка выбрана снаружи ближайшего лабораторного помещения, не имеющего источников шума.

Решение. 1. Определяем расстояния r_1 от всасывающих и выхлопных отверстий до расчетной точки: $r_{мп} =$

Таблица 6.9

Тип компрессора	Воздуховод	Уровень звуковой мощности (δB) при средней ометрической частоте октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2РВ-3/350	Всасывающий	110	111	96	91	86	82	77	75
	Выхлопной	108	112	109	109	115	118	121	124
205ВП-30/8	Всасывающий	121	127	117	108	100	94	90	89
	Выхлопной	106	108	117	118	115	109	106	107

Таблица 6.10

Волячий	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000

Компрессор 2РВ-3/350										
Всасывание										
$L_{P_{вс1}}$	дБ	Табл. 6.9	110	111	96	91	86	82	77	75
L_1	"	Ф-ла (2.3)	74	75	60	55	50	46	41	39
L_n	"	Табл. 2.3	71	61	54	49	45	42	40	38
Δn	"	Табл. 2.3, прим. 2	10	10	10	10	10	10	10	10
$L_{доп}$	"	Ф-ла (2.2)	81	71	64	59	55	52	50	48
$10 \lg n (n=8)$	"	—	9	9	9	9	9	9	9	9
$\Delta L_{тр1}$	"	Ф-ла (2.23)	2	13	5	5	4	3	0	0
$\Delta L_{к1}$	"	Табл. 6.2	19	13	8	3	0	0	0	0
$\Delta L_{тр1} + \Delta L_{к1}$	"	П. 6.2.3	21	26	13	8	4	3	0	0
Выхлоп										
$L_{P_{вых1}}$	дБ	Табл. 6.9	108	112	109	109	115	118	121	124
L_2	"	Ф-ла (2.3)	72	76	73	73	79	82	85	88
L_n	"	Табл. 2.3	71	61	54	49	45	42	40	38
Δn_1	"	Табл. 2.3, прим. 2	10	10	10	10	10	10	10	10
Δn_2 (кратковр.)	"	Табл. 2.4	12	12	12	12	12	12	12	12
$\Delta L_{доп}$	"	Ф-ла (2.2)	93	83	76	71	67	64	62	60
$10 \lg n (n=8)$	"	—	9	9	9	9	9	9	9	9
$\Delta L_{тр2}$	"	Ф-ла (2.23)	0	2	6	11	21	27	32	37
$\Delta L_{к2}$	"	Табл. 6.2	24	18	12	7	3	0	0	0
$\Delta L_{тр2} + \Delta L_{к2}$	"	П. 6.2.3	24	20	18	18	24	27	32	37

Компрессор 205ВП-30/8										
Всасывание										
$L_{P_{вс2}}$	дБ	Табл. 6.9	121	127	117	108	100	94	90	89
L_3	"	Ф-ла (2.3)	85	91	81	72	64	58	54	53
L_n	"	Табл. 2.3	71	61	54	49	45	42	40	38
Δn	"	Табл. 2.3, прим. 2	10	10	10	10	10	10	10	10
$L_{доп}$	"	Ф-ла (2.2)	81	71	64	59	55	52	50	48
$10 \lg n (n=8)$	"	—	9	9	9	9	9	9	9	9
$\Delta L_{тр3}$	"	Ф-ла (2.23)	13	29	26	22	18	15	13	14
$\Delta L_{к3}$	"	Табл. 6.2	14	9	4	1	0	0	0	0
$\Delta L_{тр3} + \Delta L_{к3}$	"	П. 6.2.3	27	38	30	23	18	15	13	14
Выхлоп										
$L_{P_{вых2}}$	дБ	Табл. 6.9	106	108	117	118	115	109	105	107
L_4	"	Ф-ла (2.3)	70	72	81	82	79	73	70	71
L_n	"	Табл. 2.3	71	61	54	49	45	42	40	38
Δn_1	"	Табл. 2.3, прим. 2	10	10	10	10	10	10	10	10
Δn_2 (кратковр.)	"	Табл. 2.4	12	12	12	12	12	12	12	12
$L_{доп}$	"	Ф-ла (2.2)	93	83	76	71	67	64	62	60
$10 \lg n (n=8)$	"	—	9	9	9	9	9	9	9	9
$\Delta L_{тр4}$	"	Ф-ла (2.23)	0	0	14	20	21	18	17	20
$\Delta L_{к4}$	"	Табл. 6.2	24	18	12	7	3	0	0	0
$\Delta L_{тр4} + \Delta L_{к4}$	"	П. 6.2.3	24	18	26	27	24	18	17	20

≈ 21 м; $r_{\text{макс}} = 29$ м. Соотношение $r_{\text{макс}} \leq 1,5 r_{\text{мин}}$ выполняется (см. п. 2.5.5.). Поэтому для выхлопных и всасывающих воздухопроводов принимаем $r_i = r_{\text{ср}} = 25$ м. Фактор направленности принимаем $\Phi_i = 2$.

2. Определяем по табл. 6.1 исходные уровни звуковой мощности шума (δB), излучаемого из отверстий всасывающих и выхлопных воздухопроводов компрессоров. Результаты записываем в табл. 6.9.

3. Выбираем по табл. 2.3 нормативный спектр уровней звукового давления L_B в расчетной точке (ПС-45) и вводим поправку $\Delta_{\text{п}} = 10$ дБ (прим. 2 к табл. 2.3), так как расчетная точка расположена снаружи изолируемого помещения. Определяем по формуле (2.3) ожидаемые уровни звукового давления L_i в расчетной точке и по формуле (2.23) величину $\Delta L_{\text{тр} i}$ для каждого типа источника шума. Расчет сводим в табл. 6.10.

4. По заданному объемному расходу компрессоров, приняв допустимую скорость воздуха в глушителе равной 10 м/с, определяем минимально допустимое свободное (проходное) сечение каждого глушителя для всасывающих и выхлопных воздухопроводов по формуле (7.11). Расчет сводим в табл. 6.11.

Таблица 6.11

Величина	Единица измерения	Компрессор			
		2РВ-3/350		205ВП-30/8	
		Воздуховод			
		всасывающий	выхлопной	всасывающий	выхлопной
Объемный расход Q	м ³ /с	0,05	0,05	0,5	0,5
Допустимая скорость v	м/с	10	10	10	10
Допустимое свободное сечение глушителя $F_{\text{св}}$	м ²	0,005	0,005	0,05	0,05

5. По полученным значениям допустимых свободных сечений глушителя, величинам требуемого заглушения и диаметрам проектируемых воздухопроводов, пользуясь табл. 7.1 и 7.2, подбираем подходящие трубчатые глушители (табл. 6.12).

6. Количество звукопоглощающих секций в выбранных трубчатых глушителях (т. е. длину глушителей) определяем по табл. 7.1 и 7.2 из условия обеспечения требуемого снижения шума (см. табл. 6.10).

Таблица 6.12

Величина	Единица измерения	Компрессор			
		2РВ-3/350		205ВП-30/8	
		Воздуховод			
		всасы- ваю- щий	вых- лоп- ной	всасы- ваю- щий	вых- лоп- ной
Диаметр проектируемо- го воздухопровода	мм	180	100	300	90
Внутренний диаметр глушителя	"	115	300	285	300
Свободное сечение глу- шителя	м ²	0,011	0,071	0,064	0,07

Эффективность $\Delta L_{\text{эф.гл.} i}$ и габариты подобранных глушителей (трубчатых) приведены в табл. 6.13.

Пример 2. *Задача.* Определить общий уровень звуковой мощности и октавный спектр уровней звуковой мощности, излучаемой со стороны всасывания многоступенчатого компрессора низкого давления ГТУ.

Исходные данные. Массовый расход воздуха через компрессор $m_i = 83$ кг/с, адиабатический к. п. д. компрессорной ступени $\eta_{\text{ад}} = 0,87$, адиабатический напор первой ступени компрессора $H_{\text{ад}} = 11\,600$ Дж/кг, плотность среды на входе в первую ступень $\rho = 1,18$ кг/м³, скорость звука $c = 340$ м/с, наружный диаметр рабочего колеса первой ступени $D = 1,28$ м, число лопаток рабочего колеса первой ступени $z = 31$, частота вращения ротора $n = 3000$ об/мин.

Решение. 1. Общая звуковая мощность определяется по формуле (6.3):

$$P = 0,5 \left(\frac{1 - 0,87}{0,87} \right)^2 \frac{83^2 \cdot 11\,600^2}{1,18 \cdot 340^3 \cdot 1,28^2} = 136 \text{ Вт.}$$

2. Общий уровень звуковой мощности шума на всасывании компрессора

$$L_{P0} = 10 \lg \frac{136}{10^{-12}} = 141,3 \text{ дБ.}$$

3. Частоты первой, второй и третьей составляющей тонального шума компрессора по формуле (6.2):

$$f_1 = \frac{31 \cdot 3000}{60} = 1550 \text{ Гц; } f_2 = 3100 \text{ Гц; } f_3 = 4650 \text{ Гц.}$$

Частоты f_1 , f_2 и f_3 расположены в $1/3$ -октавных полосах со среднегеометрическими частотами 1600, 3150 и 5000 Гц.

Таблица 6.13

Компрессор	Воздуховод (источник шума)	Размер глушителя, мм	Ссылка	Эффективность выбранного глушителя (дБ) при среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2РВ-3/350	Всасывающий	$D_{\text{вн}} = 115$, $l = 2$ м	Табл. 7.1	27	29	60	56	75	70	72	53
	Выхлопной	$D_{\text{вн}} = 300$, $l = 6$ м	" 7.2	33	49	60	70	74	75	60	35
205ВП-30/8	Всасывающий	$D_{\text{вн}} = 285$, $l = 6$ м	" 7.1	26	40	60	70	75	75	70	40
	Выхлопной	$D_{\text{вн}} = 300$, $l = 4$ м	" 7.2	27	38	60	70	68	69	46	29

4. Уровни звуковой мощности, излучаемой в сторону всасывания, в каждой $1/3$ -октавной полосе частот определяют по рис. 6.1 и по формуле (6.5). Результаты расчета представлены на рис. 6.6 (пунктирная кривая). На этом же рисунке показан спектр звуковой мощности, пересчитанный, как указано в п. 6.3.3, для октавных полос (сплошная кривая).

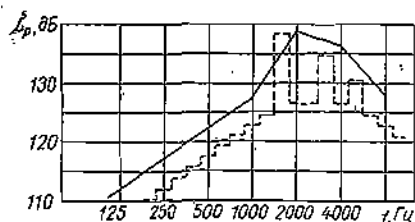


Рис. 6.6. Уровни звуковой мощности шума, излучаемого на всасывании компрессора ГТУ

Пример 3. Задание. Определить общий уровень и спектральные составляющие уровней звуковой мощности шума, излучаемого выхлопной системой ТРД, при работе двигателя на взлетном режиме.

Исходные данные. В качестве исходных данных задаются следующие газодинамические параметры на срезе сопла ТРД (табл. 6.14).

Таблица 6.14

Величина	Массовый расход Q , кг/с	Полное давление P_{0c} , Па (Н/м ²)	Температура торможения струи T_c , °К
Заданные значения	65	220 000	1073

Решение. 1. Для расчета по формуле (6.6) общего уровня L_{p0} звуковой мощности шума, излучаемого ТРД, требуется определить входящие в формулу величины ρ_c (плотность струи), v_c (скорость истечения струи), F_c (площадь сопла).

В соответствии с найденными по табл. 6.6 и формуле (6.7) значениями изэнтропического показателя ($\chi = 1,33$) и функции $\lambda(\lambda_c) [\lambda(\lambda_c) = 0,469]$ находим по таблицам газодинамических функций значения λ_c и $\lambda(\lambda_c)$. Так как из таблиц $\lambda_c = 1,099$, принимаем $\lambda_c = 1$ (прим. 2 п. 6.4.2). В этом случае $\lambda(\lambda_c) = 0,629$.

2. Определяем плотность струи ρ_c , скорость истечения струи v_c и площадь сопла двигателя F_c соответственно по формулам (6.8)–(6.10), а также диаметр сопла d_c . Результаты расчета приведены в табл. 6.15.

Таблица 6.15

Величина	ρ_c , кг/с	v_c , м/с	F_c , м ²	d_c , м
Результаты расчета	0,446	600	0,25	0,57

3. Общий уровень звуковой мощности рассчитываем по формуле (6.6). Получаем

$$L_{p0} = 165 \text{ дБ.}$$

4. Для расчета спектральных составляющих шума

на выхлопе ТРД определяем относительный спектр звуковой мощности по графику на рис. 6.2.

Расчет сводим в табл. 6.16.

Таблица 6.16

Величина	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\frac{f d_c}{v_c}$ ($d_c = 0,57$ м, $v_c = 600$ м/с)	0,06	0,12	0,24	0,48	0,96	1,92	3,84	7,68
ΔL_{p0} , дБ	-10	-6	-5	-6	-10	-14	-17	-20

5. Составляющие спектра звуковой мощности шума выхлопа ТРД определяем по формуле (6.13). Результаты расчета сводим в табл. 6.17.

Таблица 6.17

Общий уровень звуковой мощности, L_{p0} , дБ	Октавные уровни звуковой мощности (дБ) при среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
165	155	159	160	159	155	151	148	145

Пример 4. Задание. Определить требуемое заглушение шума ΔL_{tr} для систем выхлопа, а также шахт всасывания и подсоса трех проектируемых боксов, предназначенных для испытания ТРД, если к террито-

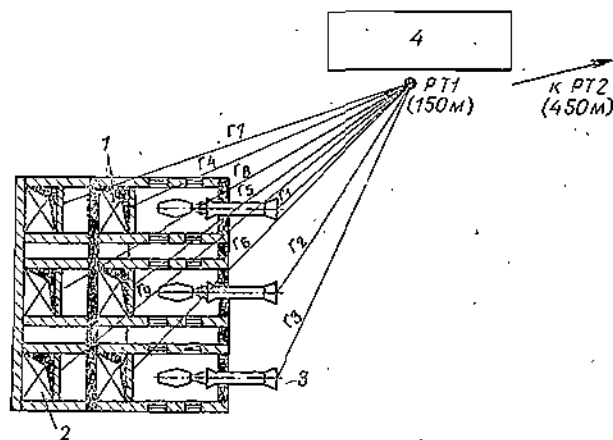


Рис. 6.7. Схема расположения испытательной станции 1 — шахты подсоса; 2 — шахты всасывания; 3 — выхлопные системы; 4 — административный корпус; PT — расчетные точки 1 и 2

рии испытательной станции на расстоянии примерно 450 м примыкает жилой массив, расположенный в существующей застройке, а на производственной территории на расстоянии примерно 150 м от бокса (см. схему на рис. 6.7) расположен административный корпус (помещения управлений).

Исходные данные. Все проектируемые боксы размером 30X13X10 м не облицованы и предусматриваются для испытания одного и того же типа изделия. Величина χ/d_c (см. п. 6.4.4) равна 1. Изделие работает с 7.00 до 23 ч, время форсажного режима составляет 5–10% вре-

мев работы изделия за каждые 8 ч (т. е. от 0,5 до 1 ч в смену). Поэтому в соответствии с п. 6.4.8 $\Delta L_{\text{тр}}$ можно рассчитывать только для взлетного режима. Время воздействия шума на персонал, работающий в помещениях управления административного корпуса, не превышает 4 ч в смену. Параметры изделия, необходимые для расчета, см. в примере 3. Уровни звуковой мощности шума $L_{\text{Р вых}}$, излучаемого изделием в сторону выхлопа при работе на взлетном режиме (см. пример 3), приведены в табл. 6.17.

Решение. 1. Выбираем расчетные точки и определяем расстояния от каждого из источников до расчетных точек.

Расчетную точку 1 выбираем снаружи административного корпуса на расстоянии 2 м от плоскости окон, расчетную точку 2 — около ближайшего здания жилого массива, прилегающего к испытательной станции.

Величины расстояний r_i от каждого источника шума до расчетных точек вписываем в табл. 6.18.

Так как для значений $r_{\text{ср1}}$, $r_{\text{ср2}}$ и $r_{\text{ср3}}$ не соблюдается соотношение $r_{\text{ср. макс}} \leq 1,5 r_{\text{ср. мин}}$ (см. п. 2.5.5), то при расчете требуемого заглушения для расчетной точки 1 для каждого типа источника шума принимаем свои значения расстояния от источника до расчетной точки $r_{\text{ср1}}$, $r_{\text{ср2}}$, $r_{\text{ср3}}$ (см. табл. 6.18).

Для расчетной точки 2 можно выбрать одно значение r , так как соблюдается соотношение $r_{\text{макс}} \leq 1,5 r_{\text{мин}}$. Это значение равно среднеарифметическому значению из всех расстояний, указанных в табл. 6.18, т. е. $r_{\text{ср}} = 430$ м.

2. Определяем исходные октавные уровни звуковой мощности шума (дБ) для шахт всасывания ($L_{\text{Рвс}}$) и подсоса ($L_{\text{Р подс}}$), предварительно определив общий

Таблица 6.18

Источник шума	Расстояние, м	
	r_i (до точки 1)	r_i (до точки 2)
Выхлопные системы	$r_1 = 80$ $r_2 = 100$ $r_3 = 130$ $r_{\text{ср1}} \approx 100$	$r_1 = 370$ $r_2 = 390$ $r_3 = 410$ —
Шахты подсоса	$r_4 = 120$ $r_5 = 140$ $r_6 = 160$ $r_{\text{ср2}} \approx 140$	$r_4 = 420$ $r_5 = 430$ $r_6 = 450$ —
Шахты всасывания	$r_7 = 160$ $r_8 = 170$ $r_9 = 190$ $r_{\text{ср3}} \approx 170$	$r_7 = 460$ $r_8 = 470$ $r_9 = 480$ —

уровень звуковой мощности шума, излучаемого в бокс. $L_{\text{Р о.б.}}$ Величина $L_{\text{Р о.б.}} = 165 - 10 = 155$ дБ (см. п. 6.4.4). Расчет сводим в табл. 6.19.

3. Определяем величины требуемого заглушения $\Delta L_{\text{тр}}$ (дБ) для расчетной точки 1.

Выбираем по табл. 2.3 нормативный спектр уровней звукового давления L_n для помещений управлений, находящихся в зданиях, расположенных на территории промышленных предприятий. Вводим поправку $\Delta n_1 = 10$ дБ (прим. 2 к табл. 2.3), так как расчетная точка расположена снаружи помещения, и поправку $\Delta n_2 = 6$ дБ (табл. 2.4), обусловленную временем воздействия. Определяем по формуле (2.3) ожидаемые уровни звукового давления L_i в расчетной точке. Определяем

Таблица 6.19

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Шахты всасывания										
$\Delta L_{Рвс}$	дБ	Рвс. 6.3	-25	-17	-12	-7	-5	-7	-9	-12
$L_{Рвс}$	»	Ф-ла (6.15)	130	138	143	148	150	148	146	143
$B (V=3,9 \cdot 10^3 \text{ м}^3)$	м³	П.2.4.5	65	65	72	92	130	210	390	780
$10 \lg B$	дБ	—	18	18	18	20	21	23	26	29
$10 \lg S_{вс} (S_{вс} = 42 \text{ м}^2)$	»	—	16	16	16	16	16	16	16	16
$L_{Р вв}$	»	Ф-ла (6.16)	128	136	141	144	145	141	136	130
Шахты подсоса										
$\frac{1}{2 \pi r^2} (r=12 \text{ м})$	—	—	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$
$\frac{1}{B}$	—	—	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$0,8 \times 10^{-2}$	$0,5 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$
$\left(\frac{1}{2 \pi r^2} + \frac{1}{B} \right)$	—	—	$1,6 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-2}$	$0,9 \times 10^{-2}$	$0,6 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-3}$
$10 \lg \left(\frac{1}{2 \pi r^2} + \frac{1}{B} \right)$	дБ	—	-18	-18	-18	-19	-20	-22	-24	-26
$10 \lg S_{подс} (S_{подс} = 42 \text{ м}^2)$	»	—	16	16	16	16	16	16	16	16
$L_{Р подс}$	»	Ф-ла (6.18)	128	136	141	145	146	142	138	133

по формулам (2.24) и (2.25) величину $\Delta L_{\text{тр}}$ для источника шума каждого типа. Расчет сводим в табл. 6.20.

4. Определяем величины требуемого заглушения $\Delta L_{\text{тр}}$ (дБ) для расчетной точки 2.

Выбираем по табл. 2.1 нормативный спектр уровней звукового давления $L_{\text{н}}$ для точки, расположенной снаружи жилого дома, находящегося на территории существующей жилой застройки, прилегающей к испытательной станции. Вводим поправки (табл. 2.2): $\Delta n_1 = 10$ дБ, обусловленную временем эксплуатации испытательной станции (с 7 до 23 ч), и $\Delta n_2 = 5$ дБ, обусловленную местом расположения объекта. Определяем по формуле (2.3) ожидаемые уровни звукового давления L_i в расчетной точке. Определяем по формулам (2.24) и (2.25) величину $\Delta L_{\text{тр}}$ для источника шума каждого типа. Расчет сводим в табл. 6.21.

Полученные из расчета (табл. 6.20 и 6.21) величины требуемого заглушения $\Delta L_{\text{тр}}$ для разных типов источ-

ников шума при работе изделия на взлетном режиме представлены в табл. 6.22.

Глушители следует подбирать так, чтобы их эффективность удовлетворяла требуемому заглушению, найденному из расчета для обеих расчетных точек.

Для всасывающих и выхлопных систем глушители подбирают соответственно по табл. 7.4 и 7.7. Предположим, что в результате аэродинамического расчета, проведенного для проектируемого бокса, установлены допустимые скорости в глушителях всасывания, подсоса и выхлопа соответственно 15, 15 и 20 м/с.

Для заглушения выхлопных систем может быть применен глушитель типа СВ-3 диаметром 5400 мм с облицованной эжекторной трубой и внутренней облицовкой секций ($V_{\text{обл}} = 4$ м) (п. 2 табл. 7.7).

Величины заглушения подобранного глушителя приведены в табл. 6.23.

Для заглушения шахт всасывания и подсоса могут быть применены пластинчатые глушители (например по

Таблица 6.20

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Выхлопные системы										
$L_{p \text{ вых}}$	дБ	Табл. 6.17	155	159	160	159	155	151	148	145
L_1	»	Ф-ла (2.3)	107	111	112	111	107	102	98	92
$L_{\text{н}}$	»	Табл. (2.3)	79	70	63	58	55	52	50	49
Δn_1	»	Табл. 2.3, прим. 2	10	10	10	10	10	10	10	10
Δn_2	»	Табл. 2.4	6	6	6	6	6	6	6	6
$L_{\text{доп}}$	»	Ф-ла (2.2)	95	86	76	74	71	68	66	65
$10 \lg n, (n_1=3)$	»	—	5	5	5	5	5	5	5	5
$\Delta L_{\text{тр}1}$	»	Ф-ла (2.24)	17	30	38	42	41	39	37	32

Шахты всасывания

$L_{p \text{ вс}}$	»	Табл. 6.19	128	136	141	145	145	141	136	130
L_2	»	Ф-ла (2.3)	74	82	87	91	90	85	78	68
$L_{\text{н}}$	»	Табл. 2.3	79	70	63	58	55	52	50	49
Δn_1	»	Табл. 2.3, прим. 2	10	10	10	10	10	10	10	10
Δn_2	»	Табл. 2.4	6	6	6	6	6	6	6	6
$L_{\text{доп}}$	»	Ф-ла (2.2)	95	86	79	74	71	68	66	65
$10 \lg (n-n_1)+5$ ($n=9, n_1=3$)	»	—	13	13	13	13	13	13	13	13
$\Delta L_{\text{тр}2}$	»	Ф-ла (2.25)	0	0	21	30	32	30	25	16

Шахты подсоса

$L_{p \text{ подс}}$	»	Табл. 6.19	128	136	141	145	146	142	138	132
L_3	»	Ф-ла (2.3)	77	85	90	94	94	89	83	74
$L_{\text{н}}$	»	Табл. 2.3	79	70	63	58	55	52	50	49
Δn_1	»	Табл. 2.3, прим. 2	10	10	10	10	10	10	10	10
Δn_2	»	Табл. 2.4	6	6	6	6	6	6	6	6
$L_{\text{доп}}$	»	Ф-ла (2.2)	95	86	79	74	71	68	66	65
$10 \lg (n-n_1)+5$ ($n=9, n_1=3$)	»	—	13	13	13	13	13	13	13	13
$\Delta L_{\text{тр}}$	»	Ф-ла (2.25)	0	12	24	33	36	34	30	22

Таблица 6.21

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Выходные системы										
$L_{p \text{ вых}}$	дБ	Табл. 6.17	155	159	160	159	155	151	148	145
L_1	"	Ф-ла (2.3)	95	99	100	98	93	86	78	64
L_B	"	Табл. 2.1	67	57	49	44	40	37	35	34
Δn_1	"	" 2.2	10	10	10	10	10	10	10	10
Δn_2	"	" 2.2	5	5	5	5	5	5	5	5
$L_{\text{доп}}$	"	Ф-ла (2.2)	82	72	64	59	55	52	50	49
$10 \lg n (n=3)$	"	—	5	5	5	5	5	5	5	5
$\Delta L_{\text{ТР}_1}$	"	Ф-ла (2.24)	18	32	41	44	43	39	33	20

Шахты всасывания

$L_{p \text{ вс}}$	"	Табл. 6.19	128	136	141	144	145	141	136	130
L_1	"	Ф-ла (2.3)	68	76	81	83	83	76	66	50
L_B	"	Табл. 2.1	67	57	49	44	40	37	35	34
Δn_1	"	" 2.2	10	10	10	10	10	10	10	10
Δn_2	"	" 2.2	5	5	5	5	5	5	5	5
$L_{\text{доп}}$	"	Ф-ла (2.2)	82	72	64	59	55	52	50	49
$10 \lg (n - n_1) + 5$ ($n=9, n_1=3$)	"	—	13	13	13	13	13	13	13	13
$\Delta L_{\text{ТР}_2}$	"	Ф-ла (2.25)	0	17	30	37	41	37	29	14

Шахты подсоса

$L_{p \text{ подс}}$	"	Табл. 6.19	128	136	141	145	146	142	138	133
L_1	"	Ф-ла (2.3)	68	76	81	84	84	77	68	52
L_B	"	Табл. 2.1	67	57	49	44	40	37	35	34
Δn_1	"	" 2.2	10	10	10	10	10	10	10	10
Δn_2	"	" 2.2	5	5	5	5	5	5	5	5
$L_{\text{доп}}$	"	Ф-ла (2.2)	82	72	64	59	55	52	50	49
$10 \lg (n - n_1) + 5$ ($n=9, n_1=3$)	"	—	13	13	13	13	13	13	13	13
$\Delta L_{\text{ТР}_3}$	"	Ф-ла (2.25)	0	17	30	38	42	38	31	16

п. 2 табл. 7.4), свободное сечение которых 50%, толщина щита $H = 100 \text{ мм}$, шаг щитов $h = 100 \text{ мм}$ и длина щитов 3 м. В качестве наполнителя может быть использовано супертонкое стеклянное или базальтовое волокно со средней плотностью $\rho_{\text{ср}}$ соответственно 25 и 20 кг/м³. Величина заглушения подобранного глушителя приведена в табл. 6.24.

Таблица 6.23

Наименование	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Максимальные значения требуемого заглушения, дБ	Табл. 6.22	18	32	41	44	43	39	37	32
Заглушение в глушителе СВ-3, дБ	Табл. 7.7, п. 2	31	39	43	42	42	49	54	56

Таблица 6.22

Источник шума	Номер расчетной точки	Требуемое заглушение (дБ) при среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Выхлопные системы	1	17	30	38	42	41	39	37	32
	2	18	32	41	44	43	39	33	20
Шахты всасывания	1	0	9	21	30	32	30	25	16
	2	0	17	30	37	41	37	29	14
Шахты подсоса	1	0	12	24	33	36	34	30	22
	2	0	17	30	38	42	38	31	16

Таблица 6.24

Наименование	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Максимальные значения требуемого заглушения, дБ	Табл. 6.22	0	17	30	38	42	38	31	22
Заглушение в пластинчатом глушителе, дБ	Табл. 7.4, п. 2	5	17	39	61	68	73	59	41

7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

7.1.1. Здесь рассмотрены вопросы, связанные с проектированием глушителей шума для вентиляционных и газодинамических установок (компрессорных, турбокомпрессорных, стенов турбореактивных двигателей и др.). Чтобы снизить шум таких установок, применяют в основном диссипативные глушители, т. е. глушители со звукопоглощающим материалом. Применяются также конструкции глушителей, которые обеспечивают достаточно большое снижение шума в широком диапазоне частот и обладают минимальным аэродинамическим сопротивлением.

несколько ярусов по высоте) звукопоглощающими цилиндрами (рис. 7.1, а);

глушители с насыпным поглотителем (см. рис. 7.11, 7.13 и 7.14).

В некоторых случаях для установок с малым расходом газа или когда допустимо относительно большое противодавление, применяют камерные глушители (рис. 7.1, б).

7.1.2. Материал и защитные оболочки для глушителей всех типов (кроме глушителей с насыпным поглотителем) выбирают в соответствии с указаниями гл. 8; для глушителей с насыпным поглотителем — по п. 7.5.

7.1.3. При подборе глушителей для вентиляционных и газодинамических установок в большинстве слу-

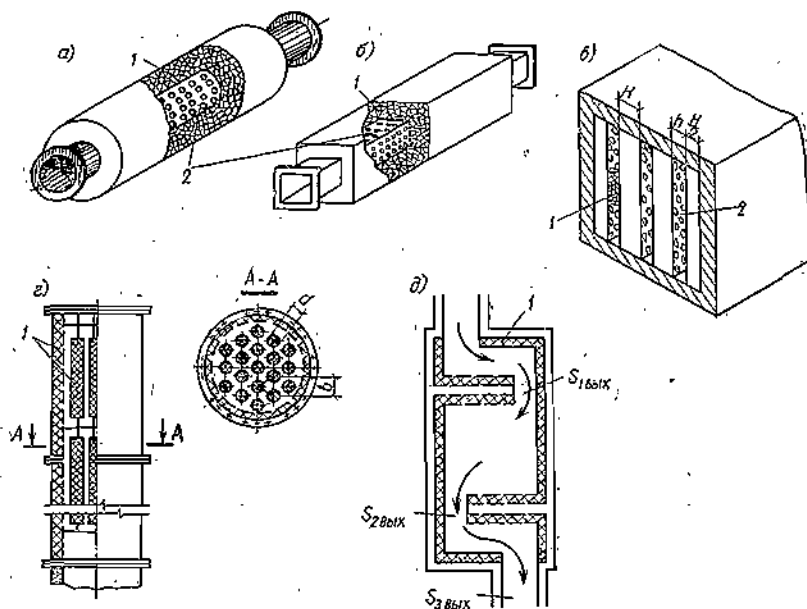


Рис. 7.1. Схемы глушителей

1 — звукопоглощающий материал; 2 — сетка или перфорированная оболочка

Таковыми свойствами обладают:

трубчатые глушители, представляющие собой полностью облицованные каналы круглого или квадратного сечения (рис. 7.1, а и б).

пластинчатые (щитовые) глушители, представляющие собой набор параллельно и равномерно расположенных в канале звукопоглощающих пластин (щитов), заполненных звукопоглощающим материалом (рис. 7.1, в);

глушители с пространственными звукопоглотителями, представляющие собой вертикально или горизонтально установленные металлические или бетонные каналы, состоящие из отдельных секций, с равномерно расположенными в них (например, подвешенными в

чаев можно пользоваться табличными данными акустической эффективности. В таблицах указаны геометрические и конструктивные параметры, необходимые для определения габаритов глушителя, а также звукопоглощающий наполнитель с указанием его средней плотности $\rho_{\text{ср}}$ и, в необходимых случаях, скорость потока, при которой справедливы значения приведенной эффективности. Для случаев, когда табличные данные использовать нельзя, в п. 7.7 дана методика расчета акустической эффективности глушителей.

Примечание. Данные по акустической эффективности, приведенные в табл. 7.3 и 7.6 на 1 м длины глушителя, являются приближенными. Для акустических расчетов в особо ответственных случаях ими пользоваться не рекомендуется.

7.2. ТРУБЧАТЫЕ ГЛУШИТЕЛИ

7.2.1. Трубчатые глушители представляют собой сборные металлические секции круглого, квадратного или прямоугольного сечения, облицованные по периметру волокнистым звукопоглощающим материалом.

Глушители этого типа применяются в вентиляционных системах для заглушения шума всасывающих и выхлоп-

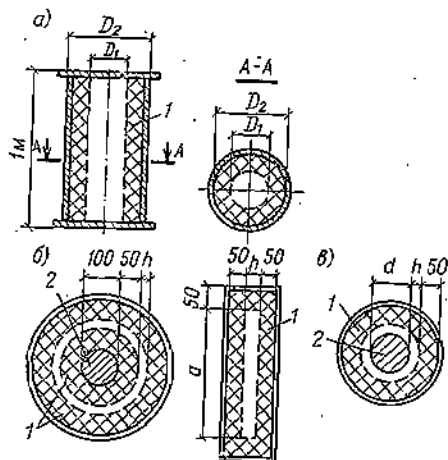


Рис. 7.2. Схемы трубчатых и щелевых глушителей

1 — звукопоглощающий наполнитель; 2 — металлический цилиндр; 3 — металлический бал, труба и т. п.

ных воздухопроводов компрессоров малой производительности низкого и высокого давления и мелких газотурбинных установок. Схемы трубчатых глушителей для всасывающих и выхлопных воздухопроводов компрессоров

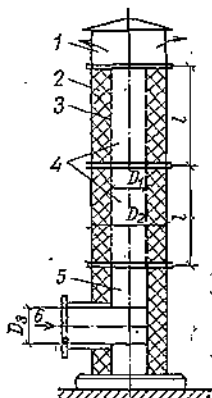


Рис. 7.3. Схема монтажа вертикальных трубчатых глушителей на выхлопные воздухопроводы компрессоров

1 — зонт; 2 — звукопоглотитель; 3 — перфорированный лист; 4 — секция глушителя; 5 — цоколь; 6 — направление потока
D₁ — внутренний диаметр глушителя; D₂ — внешний диаметр глушителя; D₃ — диаметр подводимого воздухопровода; l — длина секции

показаны на рис. 7.2, а и 7.3. На рис. 7.2, б, в даны схемы щелевых глушителей, применяемых в конструкциях звукоизолирующих кожухов (гл. 3).

Основные размеры трубчатых глушителей для всасывающих воздухопроводов компрессоров, мм:

D ₁	D ₂	l
115	320	1000
194	400	1000
285	485	1000
375	575	1000
440	650	1000

Основные размеры вертикальных трубчатых глушителей для выхлопных воздухопроводов, мм:

D ₁	D ₂	D ₃	l
300	470	300	2050
600	800	400	1650
800	1000	600	1650

7.2.2. Характеристики акустической эффективности трубчатых и щелевых глушителей приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Эффективность трубчатых, кольцевых и щелевых глушителей (dB) в зависимости от длины при скорости потока не выше 10 м/с
(наполнитель — супертонкое стеклянное или базальтовое волокно, ρ_{ср} = 25 кг/м³)

№ п. п	Внутренний диаметр D_1 , мм	Ширина щели h , мм	Площадь свободного сечения $F_{св}$, м²	Длина l , м	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Трубчатые глушители (рис 7.2, а)												
1	115	—	0,011	1	22	21	37	30	39	37	40	31
				2	27	29	60	56	76	70	72	53
				3	31	38	60	70	75	75	75	70
2	194	—	0,029	1	17	16	26	21	27	33	29	23
				2	20	22	46	39	51	58	58	36
				3	24	29	60	57	75	75	68	49
				4	27	35	60	70	75	75	75	62
3	285	—	0,064	1	13	13	16	15	19	25	20	15
				2	16	18	29	26	33	41	30	20
				3	18	24	42	37	47	57	40	25
				4	21	29	55	49	61	73	50	30
				5	23	34	60	60	75	75	60	35
				6	26	40	60	70	75	75	70	40
4	375	—	0,11	1	11	9	15	13	20	22	17	13
				2	12	14	27	23	33	34	23	16
				3	14	18	39	32	46	47	30	19
				4	16	22	51	42	59	60	27	22
				5	17	26	60	52	72	73	43	25
				6	18	30	60	61	75	75	50	28
5	440	—	0,15	1	10	10	14	11	19	19	13	10
				2	11	13	24	18	29	29	15	11
				3	12	17	35	25	40	39	18	12
				4	13	20	45	32	50	49	20	13
				5	14	24	55	39	60	59	23	14
				6	15	27	60	46	70	69	26	15

Таблица 7.2

Эффективность вертикальных трубчатых глушителей (дБ) в зависимости от количества секций при скорости потока не свыше 10 м/с

(наполнитель — минераловатные плиты, $\rho_{\text{ср}} = 100 \text{ кг/м}^3$)

№ п.п.	Внутренний диаметр D , мм	Площадь свободного сечения $F_{\text{св}}$, м ²	Длина секций l , м	Количество секций n	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	300	0,071	2,05	1	21	25	34	39	40	42	81	23
				2	27	38	60	70	68	69	46	29
				3	33	49	60	70	74	75	60	35
				4	39	55	60	70	75	75	75	41
2	600	0,28	1,5	1	16	17	21	27	26	24	22	20
				2	20	24	32	42	36	30	27	24
				3	23	31	44	57	46	37	32	27
				4	25	38	55	70	56	43	37	30
3	800	0,5	1,65	1	14	16	21	28	23	21	19	19
				2	16	22	31	39	31	25	21	21
				3	18	26	41	51	38	30	23	23
				4	20	32	51	64	46	34	25	25

Эффективность трубчатых глушителей, смонтированных по схеме рис. 7.3 и рекомендуемых для выхлопных воздуховодов компрессорных и газотурбинных установок, приведена в табл. 7.2.

Примечание. В характеристиках эффективности глушителей, приведенных в табл. 7.1 и 7.2, учтена концевая поправка, учитывающая отражение звуковой энергии от открытого конца глушителя.

Частотные характеристики эффективности $\Delta L'_i$ (дБ/м) вентиляционных глушителей квадратного и прямоугольного сечения с различным звукопоглощающим наполнителем приведены в табл. 7.3.

При использовании этих данных эффективность вентиляционного глушителя длиной l определяют по формуле

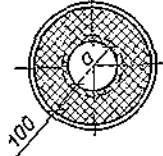
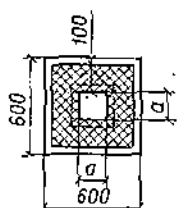
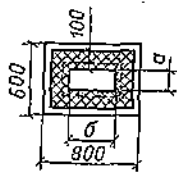
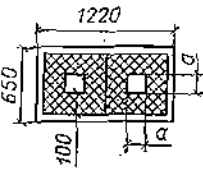
$$\Delta L_{\text{эф}} = \Delta L'_i l \text{ дБ}, \quad (7.1)$$

где l — длина облицованных секций, м.

Однако следует учитывать, что из-за влияния обходных путей величины эффективности глушителей независимо от их длины не могут превышать значений, ограниченных кривой 2 на рис. 7.16 (см. п. 7.7.2)

Таблица 7.3

Эффективность трубчатых глушителей, применяемых в вентиляционных системах (дБ) на 1 м длины при скорости потока не свыше 10 м/с

№ п.п.	Поперечное сечение глушителя	Размеры, мм		Площадь свободного сечения $F_{\text{св}}$, м ²	Звукопоглощающий наполнитель	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		a	b			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1		115 195 285 375 440	— — — — —	0,01 0,029 0,064 0,11 0,152	Супертонкое стеклян- ное или базальто- вое волокно, $\rho_{\text{ср}} =$ $= 25 \text{ кг/м}^3$, минера- ловатные плиты, $\rho_{\text{ср}} = 100 \text{ кг/м}^3$	5 3,5 2,5 1,5 1	8,5 6,5 5,5 4 3,5	21 15 12 10 9	26 18 12 10 12	36 21 15 13 11	33 20 14,5 12 9	33 16 8,5 8 4	23 10,6 5 4,5 3
2		300 370 460	— — —	0,09 0,14 0,21	Супертонкое стеклян- ное или базальто- вое волокно, $\rho_{\text{ср}} =$ $= 25 \text{ кг/м}^3$, минера- ловатные плиты, $\rho_{\text{ср}} = 100 \text{ кг/м}^3$	2,5 2 1,5	6,5 5 4	11,5 9 7	18 13,5 11	18 14 10	14,5 9 7,5	10 5,5 2,5	1,6 1,5 1,5
3		300	500	0,15	То же	2	5	9	13,5	14	9	5,5	1,6
4		370	—	0,274	»	2	5	9	13,5	14	9	5,5	1,5

Эффективность пластинчатых глушителей (ЗБ), установленных в шахтах, в зависимости от длины (при скорости потока не выше 15 м/с)

№ п.п.	Звукопоглощающая конструкция	Толщина щита H , мм	Шаг щитов B , м	Относительное свободное сечение, ρ , %	Рабочая длина щита L , м	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
						63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Супертонкое стеклянное или базальтовое волокно, $\rho_{\text{ср}} = 25 \text{ кг/м}^3$, в оболочке из стеклоткани марки Э-0,1 и перфорированного листа	100	50	33	1	4	10	22	35	46	52	50	40
					2	8	20	42	65	75	75	75	70
					3	12	30	58	70	75	75	75	75
					4	16	40	68	70	75	75	75	75
2		100	100	50	1	2	6	16	26	29	31	26	20
					2	4	11	27	43	48	52	43	31
					3	5	17	39	61	68	73	59	41
					4	7	22	49	70	75	75	75	61
3	То же	200	100	33	1	6	11	20	27	36	35	27	19
					2	9	20	35	47	62	68	43	27
					3	13	29	50	66	75	75	69	36
					4	18	39	58	70	75	75	75	44
4		200	20	50	1	3	8	12	19	23	21	16	12
					2	5	13	21	29	35	32	21	15
					3	8	19	30	40	48	43	27	17
					4	10	24	38	50	60	54	32	19
5		400	135	25	1	9	16	17	25	29	33	26	17
					2	17	30	29	42	49	56	42	25
					3	26	44	41	59	68	75	58	32
					4	34	55	53	75	75	75	74	39
6		400	200	33	1	6	12	14	20	26	25	17	14
					2	12	22	23	32	40	39	25	18
					3	18	31	31	44	55	54	32	22
					4	23	41	40	56	70	69	40	27
7	Полужесткие минераловатные плиты, $\rho_{\text{ср}} = 100 \text{ кг/м}^3$, в оболочке из стеклоткани марки Э-0,1 и перфорированного листа	100	50	33	1	2	6	18	35	50	50	40	26
					2	4	12	34	65	75	75	75	42
					3	6	18	50	70	75	75	75	58
					4	8	24	58	70	75	75	75	64
8		100	100	50	1	2	4	12	22	29	27	22	17
					2	3	8	22	37	49	44	34	24
					3	5	12	28	52	69	61	46	31
					4	8	16	36	67	75	75	58	38
9	То же	200	100	33	1	3	7	14	27	37	39	33	18
					2	6	14	24	47	65	68	68	26
					3	9	21	34	67	75	75	75	34
					4	12	28	44	75	75	75	75	42
10		200	200	50	1	1	4	13	20	25	23	14	12
					2	2	7	20	32	40	36	18	13
					3	3	10	27	44	55	49	22	15
					4	4	13	34	56	70	62	26	16
11	Последовательно расположенные щиты разной толщины с супертонким стеклянным или базальтовым волокном, $\rho_{\text{ср}} = 25 \text{ кг/м}^3$ (рис. 7.5)	400 100	200 100	33 50	4	1	30	68	68	75	75	64	40
					1	30	50	68	68	75	75	64	40
					2	30	50	68	68	75	75	64	40
					3	30	50	68	68	75	75	64	40

7.3. ПЛАСТИНЧАТЫЕ ГЛУШИТЕЛИ

7.3.1. Пластиночные глушители со щитами различной толщины применяются на всасывании и выхлопе различных газодинамических установок и в вентиляционных системах.

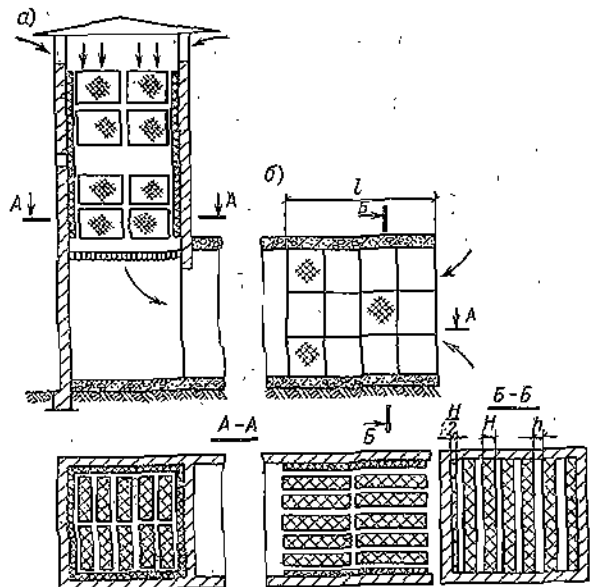


Рис. 7.4. Схема размещения пластиночного глушителя в вертикальной шахте

H — толщина щита; h — зазор между щитами (шаг щитов); l — длина щитов

7.3.2. Схемы монтажа пластиночных глушителей в шахтах показаны на рис. 7.4 и 7.5. Пластиночные глушители должны устанавливаться в шахтах или каналах

без монтажных зазоров (рис. 7.4, б). Если по конструктивным соображениям невозможно избежать монтажных зазоров, шахту необходимо облицовывать по периметру на всю длину шумоглушащих элементов звукопоглощающими щитами той же конструкции, но половинной толщины (рис. 7.4, а и 7.5).

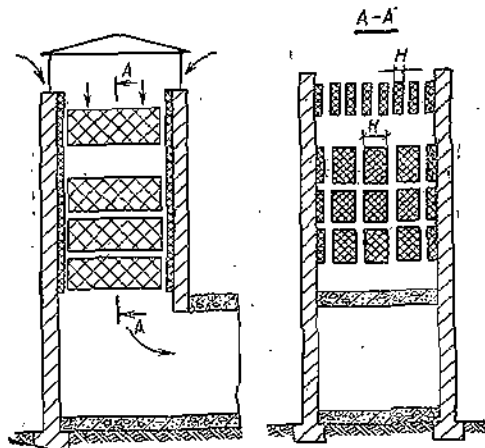


Рис. 7.5. Схема размещения комбинированного пластиночного глушителя в вертикальной шахте (со щитами разной толщины)
 H — толщина щита

7.3.3. Параметрами глушителя, от которых зависят его акустическая эффективность и гидравлическое сопротивление, являются (см. рис. 7.1, б): толщина щита H , мм; шаг щитов (величина просвета между щитами) h , мм; относительное свободное сечение

$$F_{св} = \frac{h}{h + H} 100\%; \text{ рабочая длина щитов } l, \text{ м.}$$

Таблица 7.5

Эффективность пластиночных вентиляционных глушителей ($\delta\delta$) в зависимости от длины при скорости потока не свыше 10 м/с

№ с.п.	Поперечное сечение	Размеры, мм			Свободное сечение $F_{св}, \text{ м}^2$	Наполнитель	Длина $l, \text{ м}$	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		H	h	δ				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1		400	400	600	0,24	Супертонкое стеклян- ное или базальтовое во- локно, $\rho_{ср}=25 \text{ кг/м}^3$	1	6,5	5	11	14	15	12	8,5	3
		400	400	1200	0,48		2	13	10	18	22	22	15	10	5
		400	400	1800	0,72		3	19	15	25	29	29	18	12	7
							4	26	20	32	37	36	21	13	7
							5	33	25	39	44	43	24	15	7
							6	39	30	40	45	45	27	17	7
							7	40	35	40	45	45	30	18	7
							8	40	40	40	45	45	33	19	7
2		300	600	1800	1,08	То же	1	7	3,5	5	10	9	8	6,5	6
							2	14	7	8	15	12	10	8	7
							3	21	10	11	20	15	12	10	7
							4	28	14	14	25	18	14	11	9
							5	35	17	17	30	21	16	12	10
							6	40	21	20	35	24	18	14	11
							7	40	25	23	40	27	20	15	12
							8	40	28	26	45	30	22	17	13
3		300	600	1800	1,08	Минераловатные плиты, $\rho_{ср}=100 \text{ кг/м}^3$, отходы капронового волокна	1	2,5	4,5	7	9	10	7	5	5
							2	5	9	12	13	14	9	5,5	5
							3	7,5	14	17	17	17	10	6	5
							4	10	18	24	22	21	11	6	5
							5	12,5	22	31	26	25	12	6,5	5
							6	15	27	38	30	30	14	7	5
							7	17,5	32	40	34	33	15	7	5
							8	20	36	40	38	36	16	7,5	5

№ п.п.	Поперечное сечение	Размеры, мм			Свободное сечение $F_{св}$, м ²	Наполнитель	Длина l , м	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		H	h	δ				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
4		200	250	1800	1,8	Супертонкое стеклянное или базальтовое волокно, $\rho_{ср} = 25 \text{ кг/м}^3$	1 2 3 4 5 6	2 4 6 8 10 12	8 12 16 20 24 28	12,5 19 25 32 38 40	16 24 32 40 45 45	18 27 36 45 45 45	17 24 31 38 45 45	14 18 22 26 30 34	11,5 13 14,5 16 17,5 19
6		200	260	1800	1,4	Полужесткие минераловатные плиты, $\rho_{ср} = 100 \text{ кг/м}^3$, в оболочке из стеклоткани марки Э-0,1 и перфорированного листа	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	6 8 10 12 14 16	14 22 30 38 40 40	17 26 35 44 45 45	18 27 36 45 45 45	18 26 34 42 45 45	14 18 22 26 30 34	11,5 13 14,5 16 17,5 19

Таблица 7.6

Эффективность глушителей ($\delta\delta$ на 1 м длины) для установок вентиляции транспортных тоннелей и т. п.*

№ п.п.	Продольное сечение	Размер, мм		Звукопоглощающий материал	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		h	H		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1		200	180	Бетонные звукопоглощающие блоки	1,2	2,2	4	8	9	8	5	4
		400	180		0,6	1,2	2	4	4,5	4,5	3	2,5
		600	180		0,4	0,8	1,4	2,5	3,3	3,3	2,4	1,7
		800	180		0,3	0,6	1,1	1,9	2,5	2,4	1,8	1,2
2		350	180	Звукопоглощающие блоки Ожерельевского кирпичного завода	0,6	1,4	2	3	3,7	4	2,4	2,6
		900	180		0,3	0,7	1	1,8	2,2	2	1,8	1,2
		1400	180		0,2	0,5	0,9	1,2	1,4	1,5	1,6	1,1
3		400	360	Бетонные звукопоглощающие блоки	1,1	2,3	4,5	6	5,6	5	4	3
		600	360		0,8	1,5	3,3	4,2	4,3	4	3,1	2,3
		800	360		0,6	1,1	2,4	2,8	3	2,9	2,4	1,7
		1000	360		0,5	0,9	2	2,4	2,5	2,5	2	1,4
		1200	360		0,4	0,8	1,6	1,9	2	1,9	1,6	1,2
4		400	540	То же	1,6	3,3	4,5	6	5,5	5	4	3
		600	540		0,9	2	3,6	4,5	4,4	4	3,1	2
		800	540		0,7	1,5	2,5	2,9	3	2,7	2,2	1,5
		1000	540		0,6	1,2	2,1	2,4	2,5	2,3	1,8	1,2
		1200	540		0,5	1	1,8	2	2	1,8	1,5	1
5		300	540	Звукопоглощающие блоки Ожерельевского кирпичного завода	0,6	1,1	2,5	2,9	3	2,9	2,4	1,6

* По данным А. С. Терехина

Примечания: 1. Звгущение в глушителях при любом количестве пластин для выбранного расстояния h (мм) между пластинами следует принимать таким, как указано в таблице.

2. При расчетных длинах 8—10 м глушитель нужно выплывать в конце двух секций по 4—5 м каждая с расстоянием между секциями 1,5—2 м.

3. Технология изготовления бетонных звукопоглощающих блоков описана в гл. 8.

7.3.4. Акустическая эффективность пластинчатых глушителей с различными параметрами приведена в табл. 7.4. Величины эффективности справедливы при размещении щитов с деревянными каркасами в кирпичных или бетонных каналах. Щиты с металлическими каркасами следует монтировать в каналах с воздушными зазорами или с резиновыми прокладками между щитами по длине глушителя. При невыполнении этих требований эффективность глушителей может оказаться значительно ниже табличных значений из-за влияния обходных путей для звука.

7.3.5. Характеристики эффективности некоторых пластинчатых глушителей для вентиляционных систем представлены в табл. 7.5. Приведенные значения эффективности относятся к глушителям, смонтированным в кожухах из стали при толщине стенки не менее 2 мм.

7.3.6. Характеристики эффективности глушителей, применяемых для снижения шума установок общепромышленной вентиляции транспортных тоннелей, шахт, рудников и т. п. и устанавливаемых в каналах с поперечным размером 2—8 м, приведены в табл. 7.6.

Примечание. При проектировании вентиляционных глушителей для каналов с большими поперечными размерами (свыше 2 м²) могут быть использованы также данные табл. 7.4.

7.4. ГЛУШИТЕЛИ ШУМА С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЯМИ

7.4.1. Звукопоглощающие элементы в виде сетчатых или перфорированных цилиндров диаметром 200 мм, длиной 1 м (рис. 7.6), наполненные звукопоглощающим материалом, применяют в шумоглушащих устройствах на выходе газодинамических установок. Их применяют также в шахтах всасывания и подсоса боксов для испытания турбореактивных двигателей.

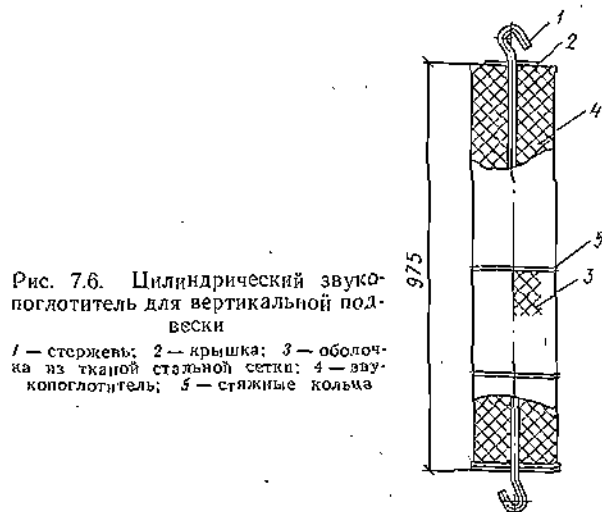


Рис. 7.6. Цилиндрический звукопоглотитель для вертикальной подвески

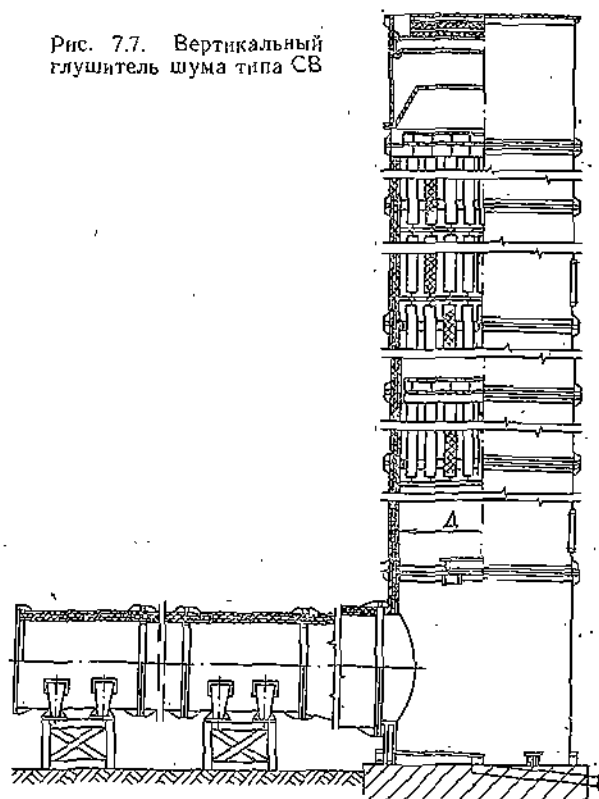
1 — стержень; 2 — крышка; 3 — обложка из тканой стальной сетки; 4 — звукопоглотитель; 5 — стяжные кольца

Для заглушения шума выхлопа установок ТРД и других газодинамических установок обычно применяют сборные, секционные, вертикальные глушители (типа СВ) разной пропускной способности, имеющие диаметр поперечного сечения D от 1,38 до 7,2 м (рис. 7.7).

Глушитель типа СВ представляет собой толстостенную металлическую конструкцию, собранную из отдельных цилиндрических секций. Внутреннюю поверхность секций облицовывают металлическими кассетами с перфорированным покрытием (перфорация 33%). Под перфорированный лист кассет укладывают звуко-

поглощающий материал толщиной 100 мм, защищенный стеклянной тканью. Нижнюю опорную секцию футеруют шамотным кирпичом с последующей защитой со стороны потока металлической рубашкой.

Рис. 7.7. Вертикальный глушитель шума типа СВ



Внутри вертикально установленных шумоглушащих секций равномерно по всему сечению в несколько рядов по высоте подвешивают основные шумоглушащие эле-

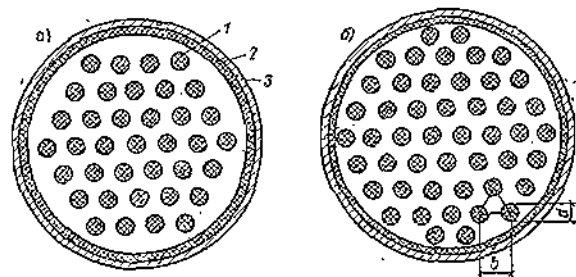


Рис. 7.8. Поперечное сечение глушителя с цилиндрическими звукопоглотителями

а — неправильное размещение цилиндров; б — правильное размещение цилиндров; 1 — цилиндрический звукопоглотитель; 2 — звукопоглощающая облицовка; 3 — стальной цилиндрический канал

менты — пространственные цилиндрические звукопоглотители. Внешнюю поверхность цилиндра выполняют из нержавеющей сетки (если наполнитель сыпучий) или из перфорированного стального листа (если наполнитель волокнистый). Цилиндры должны быть распределены равномерно по сечению, так чтобы не оставались излишние зазоры вблизи стенок глушителя (рис. 7.8, б).

Эффективность (ДБ) шумоглушащих систем выхлопа с глушителем типа СВ

№ п.п.	Характеристика глушителя	Относительное свободное сечение, $F_{св}$, %	Число рядов цилиндрических звукопоглотителей n	Исходный общий уровень звуковой мощности, $L_{Рисх}$, ДБ (не менее)	Скорость потока v , м/сек (не более)	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
						63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Вертикальные глушители типа СВ диаметром 3570 и 5400 мм с цилиндрическими звукопоглотителями, заполненными керамзитом (рис. 7.7) с внутренней обшивкой секций ($l=8$ м)	50	6	165	20 30 40	24 24 24	32 32 32	38 38 38	50 50 50	70 65 53	69 59 49	70 60 49	68 61 50
				170	20 30 40	24 24 24	32 32 32	38 38 38	50 50 50	72 65 56	72 62 52	72 64 54	70 64 54
				175	20 30 40	24 24 24	32 32 32	38 38 38	50 50 50	73 67 59	72 65 55	73 66 57	70 66 56
2	Глушитель типа СВ-3 диаметром $D=5400$ мм с облицованной эжекторной трубой и внутренней обшивкой секций ($l=4$ м). Данные измерений	50	6	165	30	31	39	43	42	42	49	54	56
3	Глушитель типа СВ-4 диаметром $D=7200$ мм с внутренней обшивкой секций ($l=10$ м), рис. 7.9	60	8	165	20 30 40	25 23 20	33 32 28	41 38 34	56 48 39	67 53 43	63 51 41	63 51 41	67 54 43
				170	20 30 40	25 25 24	33 33 32	40 39 38	56 51 43	67 56 47	65 54 44	66 54 44	68 58 47
				175	20 30 40	25 25 25	33 33 32	40 40 39	56 52 46	69 58 50	67 57 47	68 57 47	69 60 49
4	То же (данные измерений)	60	8	165	—	25	32	33	38	—	39	41	43
5	То же (данные измерений) при вспыске воды	60	8	172	—	25	34	41	41	45	45	49	50

Глушители с пространственными звукопоглотителями характеризуются следующими параметрами:

относительным свободным сечением при разбивке, показанной на рис. 7.8,

$$F_{св} = \left(\frac{b^2 \sqrt{3} - \frac{\pi d^2}{2}}{b^2 \sqrt{3}} \right) 100\%;$$

общей длиной звукопоглощающих элементов (цилиндров) l , м или числом рядов цилиндров n .

Конструкция глушителей типа СВ предусматривает централизованное изготовление всех узлов с после-

дующим транспортированием и монтажом на рабочем месте.

7.4.2. Частотные характеристики акустической эффективности глушителей типа СВ с сетчатыми цилиндрическими звукопоглотителями, заполненными мелкофракционным керамзитом (с размером гранул 3—6 мм), приведены в табл. 7.7. В таблице дана эффективность глушителя в целом, включающего в себя цилиндрические элементы и газозвудушный тракт (эжекторную трубу, поворот, облицованные секции, в которых подвешивают цилиндры, и др.). Эффективность цилиндрических звукопоглотителей, подвешенных в шахтах, дана в табл. 7.8.

Таблица 7.8

Эффективность (ДБ) цилиндрических звукопоглотителей, расположенных в вертикальных шахтах (данные измерений), рис. 7.10

Характеристика глушителя	Относительное свободное сечение $F_{св}$, %	Длина цилиндрических звукопоглотителей l , м	Скорость потока v , м/с (не более)	Исходный общий уровень звуковой мощности, ДБ (не менее)	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Цилиндрические звукопоглотители с лапкой в перфорированной оболочке	50	6	20	165	11	18	35	58	61	54	46	54
Цилиндрические звукопоглотители с минеральной ватой в перфорированной оболочке (присыпаются только в шахтах подсоса боковых токов)	50	6	20	165	16	26	35	38	43	47	50	60

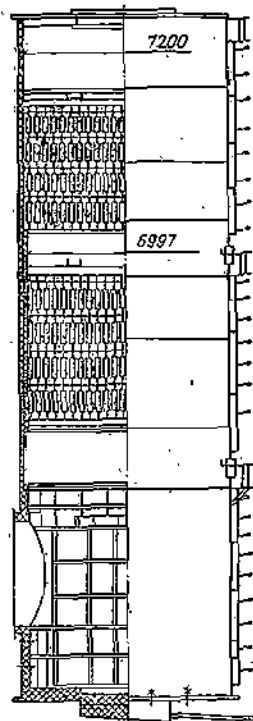


Рис. 7.9. Глушитель шума выхлопа типа СВ-4

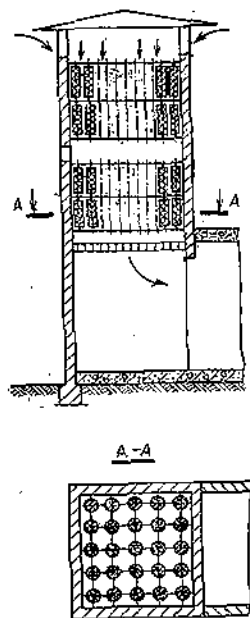


Рис. 7.10. Цилиндрические звукопоглотители в шахтах всасывания и подсоса

7.5. ГЛУШИТЕЛИ ШУМА С НАСЫПНЫМ ПОГЛОТИТЕЛЕМ¹

7.5.1. Для снижения шума выхлопа аэрогазодинамических установок с большим расходом газа применяют вертикальные и горизонтальные глушители с насыпным поглотителем из керамзитового или стропительного гравия, щебня и т. п.

В горизонтальных глушителях звукопоглощающий материал свободно насыпают над дном канала и защищают от выдувания слоем свободно лежащих крупных камней, в вертикальных — заключают в металлическую перфорированную колонну постоянного или переменного диаметра. Преимущество таких глушителей заключается в том, что они позволяют получить значительное затухание в области низких частот благодаря возможности использовать толстые слои поглотителя, сравнимые с длиной волны загушаемого звука. Высокочастотные элементы в виде диафрагм и облицованных поворотов этих глушителей обеспечивают эффективное затухание в широком диапазоне частот. Кроме того, такие глушители могут использоваться в установках с горячими газами, поскольку не требуют применения специальных жаропрочных пористых звукопоглощающих материалов. Они просты по конструкции и в изготовлении, удобны для обслуживания, надежны в эксплуатации.

На рис. 7.11 приведена схема горизонтального глушителя с насыпным звукопоглотителем. Глушитель состоит из трех частей: входной 2 и выходной 4 камер, между которыми расположена камера с насыпным поглотителем 3. Входная камера служит для распределе-

ния потока. Ее стены выполнены из красного кирпича, а пол и перекрытия — из железобетона. Газы, поступающие в эту камеру через диффузор 1, могут иметь высокую температуру и содержать капельную влагу. Камера с насыпным поглотителем состоит из параллельных каналов, разделенных кирпичными стенками и перекрытых железобетонными плитами.

Чтобы предотвратить распространение прямого звука, каналы глушителя имеют изломы, образованные соответствующим наклоном потолка и поглощающего

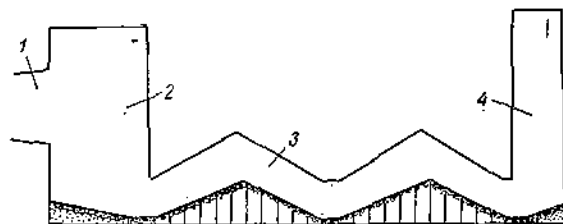


Рис. 7.11. Схема горизонтального глушителя с насыпным поглотителем

слоя. Поглощающий слой имеет переменную толщину для поглощения звука в широком диапазоне частот. Выходная камера служит для выброса воздуха вверх и состоит из вертикальных кирпичных каналов. Частотная характеристика эффективности глушителя дана на рис. 7.12. Коэффициент гидравлического сопротивления глушителя, подсчитанный по динамическому давлению на выходе из диффузора, равен 1,6.

7.5.2. Двухэтажный глушитель с горизонтальным расположением звукопоглощающего слоя (рис. 7.13) отличается от предыдущего тем, что поглощающий слой имеет практически постоянную толщину. Изогнутые каналы первого и второго этажа образуются поверхностью свободно насыпанного на под гравия с диаметром зерен 5—25 мм и поверхностью наклонного потолка. Для защиты от выдувания используется покрытие из крупного булыжника размером 150—200 мм. Чтобы

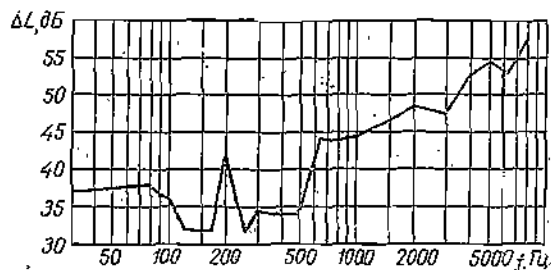


Рис. 7.12. Частотная характеристика эффективности горизонтального глушителя с насыпным звукопоглотителем

предотвратить пересыпание гравия, звукопоглощающий слой разделен перегородками, отстоящими друг от друга на 2 м. Глушитель обеспечивает затухание 35—40 дБ в диапазоне частот 40—60 Гц. С ростом частоты затухание непрерывно увеличивается и на частотах 6000—8000 Гц достигает 55 дБ.

Достоинство таких глушителей заключается в том, что они могут быть применены для снижения шума выхлопа установок с любым расходом. Это достигается увеличением ширины канала, причем поглощающий

¹ Составлено А. Г. Мушным, З. Н. Науменко и Е. Я. Юдиным.

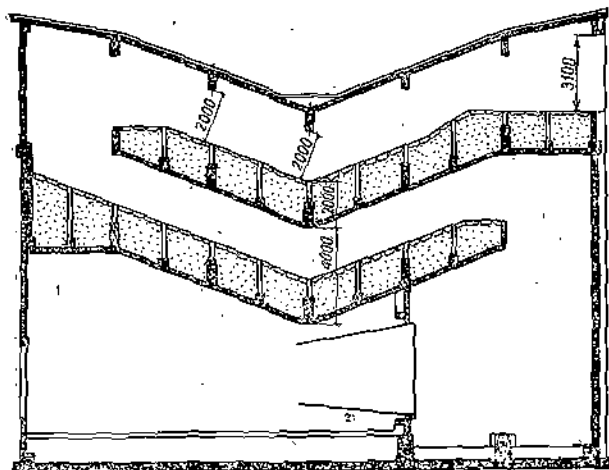


Рис. 7.13. Схема и основные размеры двухэтажного глушителя с насыпным звукопоглотителем

слой в этом случае может быть расположен в несколько этажей. При надлежащих размерах эти глушители могут обладать небольшим гидравлическим сопротивлением. Недостатком глушителей с горизонтальным расположением поглощающего слоя являются большие размеры в плане.

7.5.3. Вертикальный глушитель с насыпным звукопоглотителем (рис. 7.14) состоит из внутренней цилиндрической колонны 1, внешнего кожуха 2, входной камеры и выходной диафрагмы 3. Внутренняя колонна

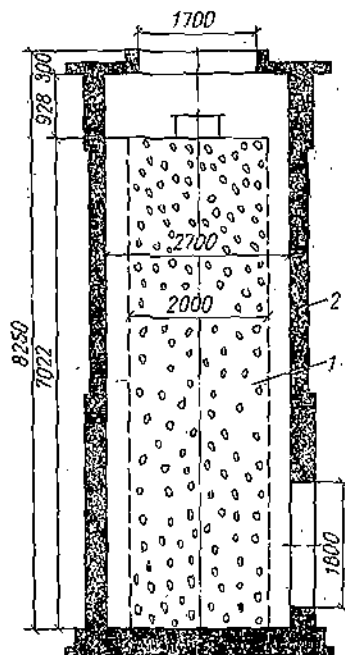


Рис. 7.14. Схема и основные размеры вертикального глушителя с насыпным звукопоглотителем

является основным элементом, обеспечивающим затухание низкочастотных составляющих шума. Она выполнена из перфорированного металла толщиной 8—10 мм с отверстиями диаметром 14 мм и коэффициентом перфорации не менее 20% и заполнена керамзитовым гравием фракций 15—30 мм. Внешний кожух может быть выполнен из железобетона или из листового металла с дополнительной звукоизоляцией. Входная камера прямоугольной формы служит для равномерной раздачи потока, а также для создания многократных отражений звука с целью увеличения эффективности глушителя на высоких частотах. Выхлоп в атмосферу осуществляется через диафрагму. Такой глушитель обеспечивает эффективность около 30 дБ в широкой области час-

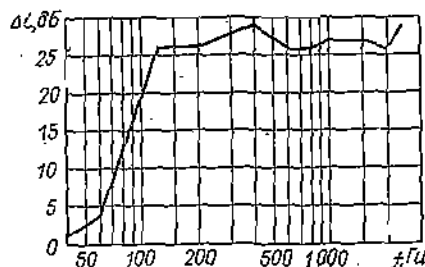


Рис. 7.15. Частотная характеристика эффективности вертикального глушителя

тот (рис. 7.15). Недостаток таких глушителей — большее гидравлическое сопротивление по сравнению с предыдущими схемами и малая пропускная способность.

7.6. КАМЕРНЫЕ ГЛУШИТЕЛИ

7.6.1. Камерный глушитель представляет собой ряд последовательно расположенных камер достаточно большого объема, соединенных отверстиями ограниченного размера (см. рис. 7.1, д). Внутренние поверхности камер облицованы звукопоглощающим материалом.

Камерные глушители иногда применяют для заглушения шума вентиляционных установок, когда есть запас противодавления и достаточно места для их размещения.

7.6.2. Акустическая эффективность камерного глушителя приблизительно определяется по формуле

$$\Delta L_{\text{эф.кам}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{S_{\text{вых}}} \text{ дБ}, \quad (7.2)$$

где n — общее количество камер; $A_i = \sum \alpha_i S_i$ — эквивалентная площадь звукопоглощения в отдельной камере, м^2 ; S_i , α_i — соответственно площади и реверберационные коэффициенты звукопоглощения внутренних поверхностей отдельной камеры (значения α_i определяют по табл. 8.6); $S_{\text{вых}}$ — площадь живого сечения выходного отверстия отдельной камеры («вход» и «выход» из камеры определяют по направлению распространения звука), м^2 .

Примечание. Коэффициент звукопоглощения для входного и выходного отверстия в каждой камере принимается $\alpha=1$.

7.6.3. Приточные камеры вентиляционных систем при облицовке звукопоглощающей конструкцией могут рассматриваться как камерный глушитель. Эффективность такого камерного глушителя приблизительно можно рассчитать по формуле (7.2).

7.7 МЕТОДИКА РАСЧЕТА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛУШИТЕЛЕЙ

7.7.1. Табличными данными эффективности глушителей (см. пп. 7.2, 7.3, 7.4) можно пользоваться только в случаях, если проектная скорость потока в газозвуковом тракте глушителя и все остальные параметры соответствуют указанным в таблицах. В остальных случаях следует проектировать глушитель заново, а его акустическую эффективность определять расчетом. Предлагаемая полуэмпирическая методика расчета позволяет определять эффективность глушителей простейших типов и комбинированных с учетом влияния потока.

7.7.2. Акустическую эффективность диссипативных глушителей простейших типов определяют в такой последовательности.

1. Вычисляют максимально возможные величины эффективности $\Delta L_{эф.м}$ (без учета влияния обходных путей для звука) по формуле

$$\Delta L_{эф.м} = \Delta L_1 + \delta \text{ дБ}, \quad (7.3)$$

где ΔL_1 — затухание низшей звуковой волны в глушителе на длине l м, дБ/м; определяется по п. 7.7.3; l — длина глушителя, м; δ — поправка на диффузность звукового поля в глушителе, дБ; определяется по п. 7.7.4.

Примечание. Величина максимально возможной акустической эффективности комбинированных глушителей $\Delta L_{эф.м.сум}$ без учета обходных путей (например, последовательно установленных толстых и тонких щитов, цилиндрических звукопоглощающих, расположенных в облицованном канале, и др.) определяется в результате арифметического сложения величин $\Delta L_{эф.м}$, вычисленных для отдельных элементов глушителя.

2. Определяют действительную эффективность глушителя $\Delta L_{эф}$. Для этого величины $\Delta L_{эф.м}$, полученные по формуле (7.3), или величины суммарной эффективности $\Delta L_{эф.м.сум}$ следует скорректировать с учетом влияния обходных путей. Для пластинчатых глушителей, установленных в кирпичных или бетонных ка-

налах, и для трубчатых глушителей с металлическими кожухами, имеющими толщину стенок не менее 3 мм, при наличии резиновых или асбестовых прокладок между отдельными секциями величины эффективности глушителей независимо от их длины не могут превышать величин, ориентировочные значения которых показаны на рис. 7.16 (кривая 1). Для пластинчатых глушителей в металлических кожухах с толщиной стенки не менее

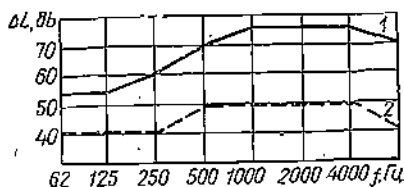


Рис. 7.16. Предельные величины эффективности для пластинчатых и трубчатых глушителей

2 мм эффективность должна быть ограничена ориентировочными величинами, соответствующими кривой 2 того же рисунка.

7.7.3. Величины затухания ΔL_1 для глушителей различных типов приведены в табл. 7.9—7.12. В таблицах указаны: параметры глушителя, звукопоглощающий наполнитель и скорость потока, при которых справедливы указанные величины затухания.

7.7.4. Поправка на диффузность звукового поля δ , входящая в формулу (7.3), при скорости потока менее 15 м/с определяется по графику рис. 7.17, а, б соответственно для трубчатых и пластинчатых глушителей в зависимости от отношения \sqrt{F}/l (F — площадь одного пролета ячейки в пластинчатом или внутренняя площадь канала в трубчатом глушителе, м²; l — длина

Таблица 7.9

Затухание ΔL_1 (дБ) на 1 м длины для трубчатых глушителей или облицованных каналов круглого сечения

Звукопоглощающая конструкция	Толщина облицовки, мм	Внутренний диаметр D_1 , мм	Скорость потока, v , м/с	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Волокно супертовкое стеклянное или базальтовое, $\rho_{ср} = 25 \text{ кг/м}^3$, в оболочке из стеклоткани марки Э-0,1 и перфорированного металлического листа	100	115	Менее 15	5	8,5	22	26	28	32	32	20
				3,5	6,5	20	18	24	25	19	13
				2,5	5,5	13	11	14	16	8	3,5
				1,5	4,2	12	9,7	13	12,7	6,6	3
				1	3,5	10,5	7	10,5	10	2,5	0,6
Полужесткие минераловатные плиты, $\rho_{ср} = 100 \text{ кг/м}^3$, в оболочке из стеклоткани марки Э-0,1 и перфорированного листа	85	300	Менее 15	3	5,5	12	15	14	13	7	3
				2,4	4,4	9,6	12	11	13	7	3
				2	4	8,6	10,7	10	13	7	3
	100	600	Менее 15	2	4	7	9	6	4	3	2
				1,6	3,2	5,6	7,2	4,8	4	3	2
				1,4	2,8	5	6,4	4,3	4	3	2
	100	800	Менее 15	1	3,2	4,5	7,5	4,5	2,5	1,2	0,5
				0,8	2,6	3,7	6	3,6	2,5	1,2	0,5
				0,7	2,3	2,6	5,3	2,2	2,5	1,2	0,5
	100	1400	Менее 15	0,5	2	3	3	1,5	0	0	0
	100	2500	> 15	0,1	1,5	1,5	1	0	0	0	0

Таблица 7.10

Затухание ΔL , (дБ) на 1 м длины для облицованных прямоугольных каналов при скорости потока менее 10 м/с

Звукопоглощающая конструкция	Толщина облицовки, мм	Внутренний размер облицованного канала, м	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Волокно супертонкое стеклянное или базальтовое, $\rho_{ср} = 25 \text{ кг/м}^3$, в оболочке из стеклоткани марки Э-0,1 и перфорированного металлического листа	100	$\begin{cases} 0,3 \times 0,3 \\ 0,5 \times 0,5 \\ 0,8 \times 0,8 \end{cases}$	2,5 1,5 1,3	6,5 4,5 3,5	11,5 7,5 6	17 10 6,6	17 9 5	13 6 3	8 1 0,5	0 0 0
	100	$\begin{cases} 1 \times 1 \\ 1,2 \times 1,2 \\ 1,4 \times 1,4 \end{cases}$	1 1 1	3 2,5 2,5	5 3,5 2,5	4 3 2	3,5 2,5 1	1 0,5 0,5	0 0 0	0 0 0
	100	От $1,6 \times 1,6$ до $1,8 \times 1,8$	1	2	2,5	2	1	0,5	0	0
	100	2×2	0,8	2	2	1	0,5	0	0	0
	100	$2,5 \times 2,5$	0,6	1,7	1,8	0,8	0	0	0	0
	200	$0,8 \times 0,8$	3,8	4,1	3,6	5	4,4	1,9	0,8	0,6
	300	$\begin{cases} 0,6 \times 0,6 \\ 2,3 \times 2,3 \end{cases}$	5,5 1,2	6,6 1,8	8 2,6	8,7 0,9	6,5 0	2 0	0 0	0 0

Полужесткие минераловатные влиты, $\rho_{ср} = 100 \text{ кг/м}^3$, в оболочке из стеклоткани марки Э-0,1 и перфорированного металлического листа

Примечание. Для каналов прямоугольного сечения величины ΔL принимаются такими же, как для каналов квадратного сечения с равной площадью.

Таблица 7.11

Затухание ΔL , (дБ) на 1 м длины для пластинчатых глушителей

Звукопоглощающая конструкция	Толщина щита Н, мм	Шаг щита h, мм	Относительное свободное сечение $F_{св}$, %	Скорость потока v, м/с	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Волокно супертонкое стеклянное или базальтовое, $\rho_{ср} = 25 \text{ кг/м}^3$, в оболочке из стеклоткани марки Э-0,1 и перфорированного металлического листа	100	$\begin{cases} 50 \\ 100 \end{cases}$	$\begin{cases} 33 \\ 50 \end{cases}$	Менее 15	$\begin{cases} 4 \\ 1,7 \end{cases}$	$\begin{cases} 10 \\ 5,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 20 \\ 11,3 \end{cases}$	$\begin{cases} 30 \\ 17,6 \end{cases}$	$\begin{cases} 36 \\ 19,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 42 \\ 21,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 40 \\ 16,3 \end{cases}$	$\begin{cases} 30 \\ 10,3 \end{cases}$
	150	$\begin{cases} 75 \\ 150 \end{cases}$	$\begin{cases} 33 \\ 50 \end{cases}$	» 15	$\begin{cases} 4,4 \\ 1,9 \end{cases}$	$\begin{cases} 9,4 \\ 5 \end{cases}$	$\begin{cases} 14,8 \\ 10,3 \end{cases}$	$\begin{cases} 19,4 \\ 12,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 26,1 \\ 14 \end{cases}$	$\begin{cases} 25 \\ 16,4 \end{cases}$	$\begin{cases} 16,4 \\ 11 \end{cases}$	$\begin{cases} 8,4 \\ 5,4 \end{cases}$
	200	$\begin{cases} 200 \\ 300 \end{cases}$	$\begin{cases} 50 \\ 67 \end{cases}$	» 15	$\begin{cases} 2,4 \\ 1,4 \end{cases}$	$\begin{cases} 5,6 \\ 3 \end{cases}$	$\begin{cases} 8,2 \\ 4,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 10,5 \\ 6,1 \end{cases}$	$\begin{cases} 12,5 \\ 6,8 \end{cases}$	$\begin{cases} 11 \\ 4 \end{cases}$	$\begin{cases} 5,6 \\ 1,8 \end{cases}$	$\begin{cases} 2,3 \\ 0,8 \end{cases}$
	400	$\begin{cases} 160 \\ 200 \\ 400 \\ 800 \end{cases}$	$\begin{cases} 25 \\ 33 \\ 50 \\ 67 \end{cases}$	» 15	$\begin{cases} 8,5 \\ 5,8 \\ 4 \\ 2,3 \end{cases}$	$\begin{cases} 14 \\ 9,7 \\ 5,5 \\ 2,9 \end{cases}$	$\begin{cases} 12 \\ 8,6 \\ 4 \\ 2,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 17 \\ 11,8 \\ 7 \\ 2,3 \end{cases}$	$\begin{cases} 19 \\ 14,8 \\ 8 \\ 2,1 \end{cases}$	$\begin{cases} 23 \\ 14,7 \\ 6 \\ 1,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 16 \\ 7,4 \\ 3 \\ 0,7 \end{cases}$	$\begin{cases} 7,2 \\ 4,1 \\ 1,5 \\ 0,6 \end{cases}$
Капроновые маты ВТ-4С, $\rho_{ср} = 35 \text{ кг/м}^3$ (ВТУ МО-62-58), в оболочке из перфорированного металлического листа	600	$\begin{cases} 200 \\ 600 \\ 1800 \end{cases}$	$\begin{cases} 25 \\ 50 \\ 75 \end{cases}$	» 15	$\begin{cases} 4,5 \\ 2,2 \\ 1,4 \end{cases}$	$\begin{cases} 9 \\ 5,5 \\ 3,3 \end{cases}$	$\begin{cases} 14 \\ 8,7 \\ 1,8 \end{cases}$	$\begin{cases} 13 \\ 5,7 \\ 0,6 \end{cases}$	$\begin{cases} 11,4 \\ 2,9 \\ 0 \end{cases}$	$\begin{cases} 6,5 \\ 1,4 \\ 0 \end{cases}$	$\begin{cases} 2,6 \\ 1 \\ 0 \end{cases}$	$\begin{cases} 1,9 \\ 0,6 \\ 0 \end{cases}$
	100	50	33	Менее 15	$\begin{cases} 2 \\ 1,6 \\ 1,4 \\ 1,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 6 \\ 4,8 \\ 4,3 \\ 3,7 \end{cases}$	$\begin{cases} 16 \\ 12,8 \\ 11,4 \\ 10 \end{cases}$	$\begin{cases} 30 \\ 24 \\ 21,5 \\ 19 \end{cases}$	$\begin{cases} 42 \\ 33 \\ 30 \\ 26 \end{cases}$	$\begin{cases} 40 \\ 32 \\ 28 \\ 25 \end{cases}$	$\begin{cases} 30 \\ 24 \\ 21,5 \\ 19 \end{cases}$	$\begin{cases} 16 \\ 12,8 \\ 11,4 \\ 10 \end{cases}$
	100	100	50	Менее 15	$\begin{cases} 1,5 \\ 1,2 \\ 1,1 \\ 1 \end{cases}$	$\begin{cases} 4 \\ 3,2 \\ 2,8 \\ 2,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 10 \\ 8 \\ 7,1 \\ 6,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 15 \\ 12 \\ 10,7 \\ 7,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 20 \\ 16 \\ 14,3 \\ 12,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 17 \\ 13,5 \\ 12 \\ 10,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 12 \\ 9,7 \\ 8,5 \\ 7,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 7 \\ 5,6 \\ 5 \\ 4,3 \end{cases}$
	200	100	33	Менее 15	$\begin{cases} 3 \\ 2,4 \\ 2,1 \\ 1,9 \end{cases}$	$\begin{cases} 7 \\ 5,6 \\ 6 \\ 4,4 \end{cases}$	$\begin{cases} 10 \\ 8 \\ 7,1 \\ 6,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 20 \\ 16 \\ 14,3 \\ 12,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 28 \\ 22 \\ 20 \\ 17,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 29 \\ 23 \\ 21 \\ 18 \end{cases}$	$\begin{cases} 25 \\ 20 \\ 18 \\ 16 \end{cases}$	$\begin{cases} 8 \\ 6,4 \\ 5,7 \\ 5 \end{cases}$
Полужесткие минераловатные плиты, $\rho_{ср} = 100 \text{ кг/м}^3$, в оболочке из стеклоткани марки Э-0,1 и перфорированного металлического листа	200	200	50	Менее 15	$\begin{cases} 1 \\ 0,6 \\ 0,7 \\ 0,6 \end{cases}$	$\begin{cases} 4 \\ 3,2 \\ 2,8 \\ 2,6 \end{cases}$	$\begin{cases} 7,8 \\ 6,4 \\ 5,7 \\ 5,1 \end{cases}$	$\begin{cases} 12 \\ 9,7 \\ 8,5 \\ 7,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 15 \\ 12 \\ 10,7 \\ 7,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 13 \\ 10,5 \\ 9,3 \\ 8,2 \end{cases}$	$\begin{cases} 6 \\ 4,8 \\ 4,3 \\ 3,8 \end{cases}$	$\begin{cases} 1,5 \\ 1,2 \\ 1,1 \\ 1 \end{cases}$
	200	400	67	Менее 15	1	2	5	7	7	4	1	0
	400	200	33	» 15	4	8	12	15	15	13	10	2
	600	200	25	» 15	6,5	9	14	16	11	7,5	0	0
	600	300	33	» 15	5,5	7	10	10	8	3,5	1	0

Таблица 7.12

Затухание ΔL , дБ/м для пространственных цилиндрических звукопоглотителей диаметром 200 мм, наполненных керамзитовой крошкой (размер гранул 3–6 мм) при скорости потока менее 40 м/с

Относительное свободное сечение $F_{\text{св}}$, %	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
50	1	2	3	4,5	9	11	11	11
60	0,8	1,6	2,5	4,5	6,3	10	9,5	10,5
65	0,6	1,3	2	3,5	6	9	8,5	8
70	0,5	1	1,7	3	5,5	7	7	6,5
75	0,4	0,8	1,7	2,5	5	7	7	7
80	0,3	0,6	1	1,5	4,5	4	4	3,5

звуковой волны в газовой среде, протекающей через глушитель, λ) и по графику рис. 7.17, а для цилиндрических звукопоглотителей в зависимости от частоты.

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (7.4)$$

где c — скорость звука в газовой или воздушной среде; определяется по графику рис. 7.18 в зависимости от температуры, м/с; f — среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц.

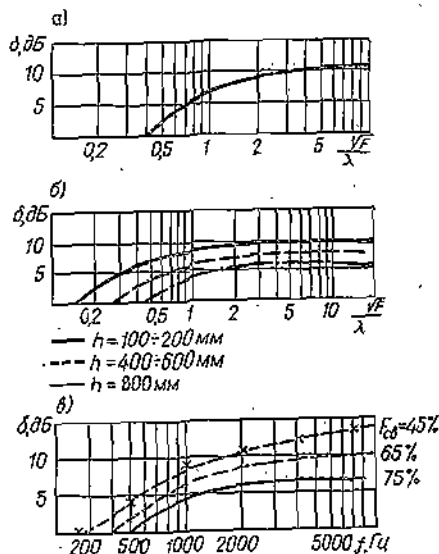


Рис. 7.17. Поправка на диффузность звукового поля

Для воздуха при нормальной температуре (15–25°С) λ определяют по табл. 7.13.

Таблица 7.13

Длина звуковой волны								
f , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
λ , м	5,5	2,75	1,38	0,69	0,345	0,175	0,086	0,043

При скорости потока свыше 15 м/с поправку δ для цилиндрических звукопоглотителей определяют по табл. 7.14, а для трубчатых и пластинчатых глушителей принимают такой же, как при скорости потока менее 15 м/с, и определяют по графикам рис. 7.17.

Таблица 7.14

Поправка (δ) на диффузность звукового поля для пространственных цилиндрических звукопоглотителей диаметром 200 мм, наполненных керамзитовой крошкой (размер гранул 3–6 мм), при разной скорости потока

Относительное свободное сечение $F_{\text{св}}$, %	Скорость потока v , м/с	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
50	15–40	0	0	0	0	7	6	8	9
60	15–30	0	0	0	0	7	7	8	9
65	15–30	0	0	0	0	6	4	6	7
70	15–30	0	0	0	0	5	4	5	6
75	15–20	0	0	0	0	4	3	4	5
	20–40	0	0	0	3	4	4	6	8
	30–40	0	0	0	2	3	2	3	4

7.7.5. Данные по акустической эффективности некоторых элементов, которые могут быть использованы при конструировании комбинированных глушителей, приведены в пп. 7.7.6–7.7.9.

7.7.6. Акустическая эффективность отводов, облицованных звукопоглощающим материалом, применяемых в вентиляционных системах, приведена в табл. 7.15. Отвод рекомендуется размещать до глушителя (по на-

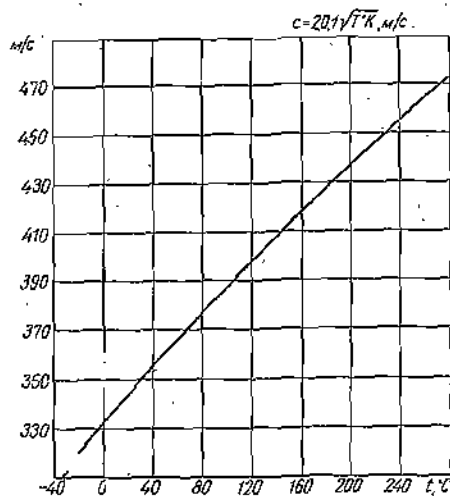


Рис. 7.18. Зависимость скорости звука от температуры газовой среды

правлению распространения шума), так как в нем возможна вторичная генерация шума.

Снижение шума благодаря применению звукопоглощающей облицовки в прямоугольных поворотах каналов большого сечения (применяется в аэрогазодинамических установках, системах вентиляции транспортных тоннелей и др.) дано в табл. 7.16.

7.7.7. Эффективность облицованных цилиндрических каналов (секций), предназначенных для подвешивания в них цилиндрических звукопоглотителей (в глушителях типа СВ), приведена в табл. 7.17.

7.7.8. Акустическую эффективность перфорированного насадка при расположении его в конце эжекторной трубы или воздуховода (рис. 7.19) для всех среднегеометрических частот определяют по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{3M(1-F_{\text{св}})^2}{F_{\text{св}}} \Delta B, \quad (7.5)$$

Эффективность облицованных отводов (дБ) при толщине облицовки 100 мм и скорости потока не выше 10 м/с

Таблица 7.15

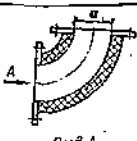


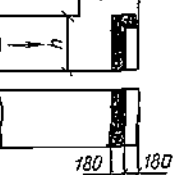
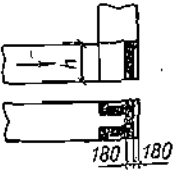
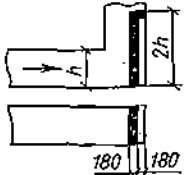
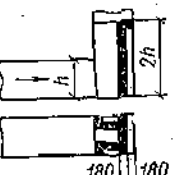
Схема поворота с облицовкой	Размер а, мм	Свободное сечение $F_{св}$, м²	Звукопоглощающий материал	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
 	От 300 до 500	От 0,09 до 0,25	Супертопкое стеклянное или базальто- вое волокно, минераловат- ные плиты	2	3	6	7	8	8	8	8
	От 900 до 1600	От 0,81 до 2,55	То же	1	1,5	3,5	5	5	5	5	5

Таблица 7.16

Снижение шума благодаря звукопоглощающей облицовке в прямоугольных поворотах каналов с поперечными размерами от 2 до 8 м, дБ*

№ п. п.	Схема облицовки	Размер h, м	Материал облицовки	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1		4	Звукопоглощающие блоки Ожерельевского кирпичного завода	1	1,5	2	3	3,5	3,5	3,5	3,5
		2	Бетонные звукопоглощающие блоки	1,5	1,5	2,5	3	3	3	8	3
		4 8		(2,5)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
2		2	То же	1	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
		4—8		2,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
3		2	>	3	5	5	5	5	5	5	5
		4—8		(4,0)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)
4		4—8	>	3	6	7	7	7	7	7	7
				(4)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
5		2	>	(4)	(7)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
		4—8		(5)	(8)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)

* По данным А. С. Терехина.

Примечание. Значения в скобках являются ориентировочными.

Таблица 7.17

Эффективность (∂B) каналов круглого сечения, облицованных минераловатными плитами толщиной 100 мм, $\rho_{ср} = 100 \text{ кг/м}^3$ при скорости потока не более 40 м/с

Внутренний диаметр D , мм	Длина облицованного канала L , м	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц						
		63	125	250	500	1000	2000	4000
1400	6	3	14	24	27	22	10	10
	4	4	18	30	33	22	10	10
	10	5	22	36	39	25	10	10
2500	6	1	12	15	14	8	8	8
	8	1	17	20	18	10	10	10
	10	1	20	23	20	10	10	10
3500	3	3	5	8	8	8	8	8
	4	4	7	9	10	10	10	10
5500	10	4	6	6	6	6	6	6
7000	12	4	6	6	6	6	6	6
7500	10	3	5	5	5	5	5	5

где M — число Маха в отверстиях перфорированной поверхности; $F_{св}$ — относительное свободное сечение перфорированной поверхности, безразмерное.

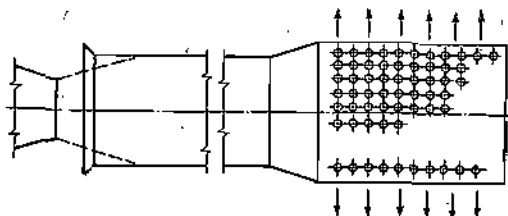


Рис. 7.19. Схема эжектора с перфорированным насадком

7.7.9. Общая эффективность газоздушных трактов для глушителей типа СВ приведена в табл. 7.18.

Таблица 7.18

Эффективность трактов глушителей типа СВ, ∂B

№ п. п.	Тип и параметры глушителя	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц						
		63	125	250	500	1000	2000	4000
1	СВ-1, $D=1380 \text{ мм}$ ($l_{обл}=6 \text{ м}$)	12	23	33	36	31	19	19
2	СВ-2, $D=2560 \text{ мм}$ ($l_{обл}=6 \text{ м}$)	10	21	24	23	17	17	17
3	СВ-3, $D=3570 \text{ мм}$ ($l_{обл}=8 \text{ м}$); $D=5400 \text{ мм}$ ($l_{обл}=10 \text{ м}$)	14	16	16	16	16	16	16
4	СВ-4, $D=7200 \text{ мм}$ ($l_{обл}=10 \text{ м}$)	18	20	20	20	20	20	20

Примечание. Эффективность глушителя СВ—сумма эффективности тракта и цилиндрических звукопоглотителей.

7.7.10. Если выбранная скорость потока в глушителе больше допустимой величины $v_{доп}$ (см. п. 7.8) или $v_{доп} > 15 \text{ м/с}$, следует учитывать вторичное шумообразование в глушителе. В этом случае эффективность глушителя рассчитывают по формулам:

$$\Delta L'_{эф.гл} = \Delta L'_{эф} - 10 \lg(1 + E) \partial B; \quad (7.6)$$

$$E = M \Pi(l) 10^{0.1A}; \quad (7.7)$$

$$A = \Delta L'_{эф} - L_{рвх} + L_{руд} \partial B, \quad (7.8)$$

Таблица 7.19

Геометрический параметр глушителя M

Тип	Параметр
Трубчатый	Звукопоглощающий периметр πD (D —внутренний диаметр, мм)
Пластиначатый	Общий звукопоглощающий периметр $P_{гл}$, где m —число щелей в глушителе, $P=2b$, мм (см. рис. 7.1)
С пространственными звукопоглотителями	Общая площадь поперечного сечения S , м ²

где $\Delta L'_{эф}$ — эффективность глушителя (∂B) с учетом обходных путей при заданной скорости потока, но без учета вторичного шумообразования; для простейших типов глушителей — это величина $\Delta L'_{эф}$, для комбинационных — $\Delta L'_{эф.сум}$, которые определяются по методике, изложенной в пп. 7.7.2—7.7.9.; M — геометрический параметр; определяется по табл. 7.19 в зависимости от типа глушителя; $\Pi(l)$ — параметр затухания, значения которого для цилиндрических звукопоглотителей в зависимости от числа рядов n приведены в табл. 7.20; для других типов глушителей (трубчатых, пластиначатых) принимают $\Pi(l) = 1$; n — число рядов звукопоглотителей при длине каждого ряда $l = 1 \text{ м}$; $L_{рвх}$ — исходный уровень звуковой мощности шума на входе в глушитель, ∂B ; $L_{руд}$ — уровень удельной звуковой мощности шума, генерируемого в глушителе, при заданной скорости потока, ∂B ; определяется по графикам рис. 7.20 для цилиндрических звукопоглотителей и по графику рис. 7.21 для пластиначатых и трубчатых глушителей.

Таблица 7.20

Значение $\Pi(l)$ для глушителей с пространственными звукопоглотителями при скорости потока до 40 м/с (звукопоглощающий наполнитель — керамзит фракции 3—6 мм).

Относительное свободное сечение $F_{св}$, %	Число рядов звукопоглотителей n	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц				
		63	125	250	500	1000 и выше
50	1	1	1	1	1	1
	2	1,63	1,4	1,25	1,1	1,1
	3	2,13	1,65	1,38	1,13	1,13
	4	2,63	1,81	1,44	1,14	1,14
	5	2,85	1,91	1,47	1,14	1,14
	6	3,1	1,97	1,49	1,14	1,14
	7	3,3	2,01	1,5	1,15	1,15
	8	3,46	2,03	1,5	1,15	1,15
60	1	1	1	1	1	1
	2	1,71	1,5	1,32	1,13	1,13
	3	2,27	1,82	1,5	1,17	1,17
	4	2,77	2,04	1,6	1,19	1,19
	5	3,17	2,2	1,66	1,19	1,19
	6	3,49	2,31	1,68	1,19	1,19
	7	3,77	2,39	1,7	1,19	1,19
	8	3,99	2,44	1,71	1,19	1,19
65	1	1	1	1	1	1
	2	1,71	1,56	1,4	1,16	1,16
	3	2,34	1,86	1,55	1,22	1,22
	4	2,9	2,28	1,8	1,25	1,25
	5	3,4	2,5	1,91	1,26	1,26
	6	3,85	2,66	1,97	1,26	1,26
	7	4,25	2,79	2,01	1,26	1,26
	8	4,57	2,89	2,03	1,26	1,26
70	1	1	1	1	1	1
	2	1,8	1,63	1,4	1,25	1,25
	3	2,11	2,13	1,65	1,38	1,38
	4	2,74	2,52	1,81	1,44	1,44
	5	3,3	2,85	1,91	1,47	1,47
	6	3,8	3,1	1,97	1,49	1,49
	7	4,25	3,3	2,01	1,5	1,5
	8	4,65	3,46	2,03	1,5	1,5

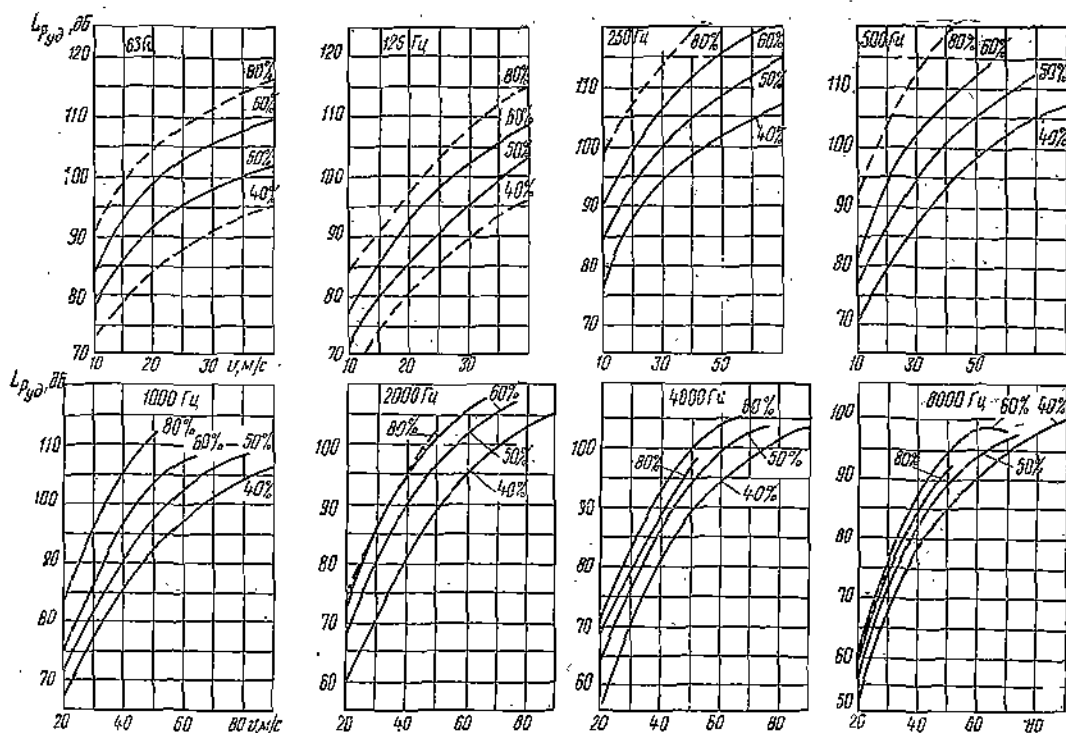


Рис. 7.20. Зависимость $L_{p_{уд}}$ от скорости протекания потока в глушителях с цилиндрическими звукопоглотителями

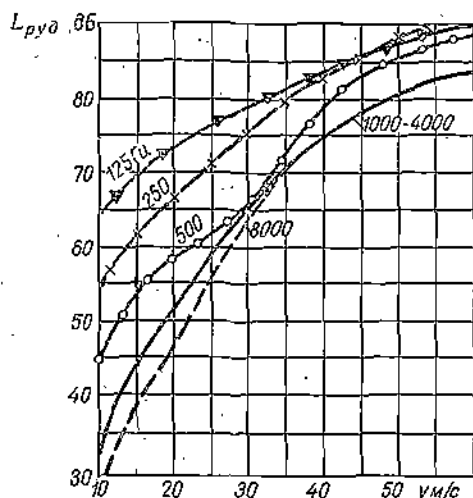


Рис. 7.21. Зависимость $L_{p_{уд}}$ от скорости протекания потока в трубчатых и пластинчатых глушителях

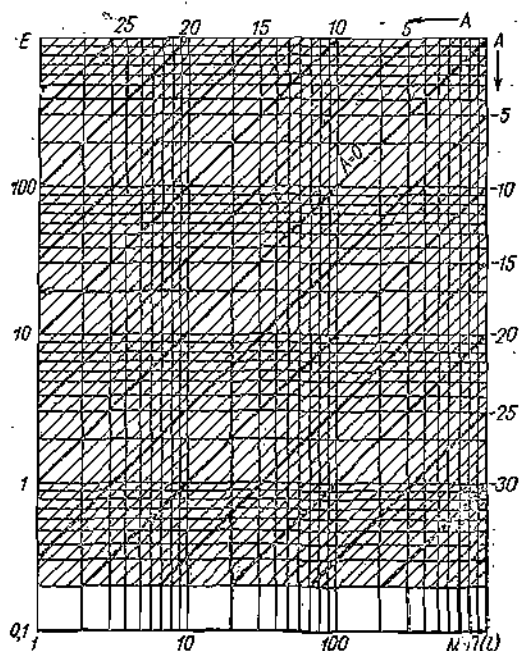


Рис. 7.22. Номограмма для определения поправки E на вторичное шумообразование в глушителе

На рис. 7.20 и 7.21 приведены зависимости $L_{руд}$ для температуры газовой смеси $T_1 = 473^\circ \text{K}$. Для расчета $L_{руд}$ в глушителях при другой температуре T_2 к величине $L_{руд}$, полученной по графикам рис. 7.20 и 7.21, следует прибавить поправку $+20 \lg (T_1/T_2)$.

Величину поправки E в формуле (7.6) на вторичное шумообразование в глушителе можно определять по номограмме рис. 7.22, где по оси абсцисс отложено произведение $M \Pi$ (л), а параметром является величина A , определяемая по формуле (7.8).

Когда поправка $E \ll 0,2$, вторым членом в формуле (7.6) можно пренебречь.

Примечание. При расчетах эффективности комбинированных глушителей величину E определяют для элемента глушителя, в котором уровни генерируемого шума наибольшие. Наибольшие уровни удельного генерируемого шума получаются в цилиндрических звукопоглотителях, наименьшие — в облучиванных каналах.

Пример (1) расчета эффективности глушителя дан в конце главы.

7.8. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ПОТОКА В ГЛУШИТЕЛЕ¹

7.8.1. Если скорость потока в глушителе превышает некоторую величину, зависящую от конструкции и эффективности глушителя, а также от исходного уровня звуковой мощности шума на входе в глушитель, то акустическая эффективность глушителя начинает резко уменьшаться с увеличением скорости потока, в первую очередь в области высоких и средних частот. Это объясняется вторичным шумообразованием (генерацией шума) в газовой воздушном канале глушителя при протекании в нем потока воздуха или газовой смеси. Поэтому после того как ориентировочно подобран подходящий по эффективности глушитель (см. п. 7.7), необходимо определить допустимую (из акустических условий) скорость протекания потока в глушителе. Допустимую скорость потока в глушителе необходимо рассчитывать для глушителей с цилиндрическими звукопоглотителями во всех случаях, а для других типов глушителей при скорости потока свыше 15 м/с . После окончательного выбора скорости уточняют габариты глушителя.

7.8.2. Допустимой (в каждом конкретном случае) будет такая скорость потока, при которой уровни удельного генерируемого в глушителе шума не превышают в каждой октавной полосе определенной допустимой величины $L_{руд.доп}$.

В общем виде допустимый уровень удельной звуковой мощности генерируемого в глушителе шума $L_{руд.доп}$ определяется из выражения

$$L_{руд.доп} = L_{рвх} - \Delta L_{тр} - 10 \lg \Pi(l) - 10 \lg M - 5 \text{ дБ}, \quad (7.9)$$

где $L_{рвх}$ — уровень звуковой мощности источника шума на входе в глушитель, дБ; $\Delta L_{тр}$ — требуемое заглушение шума в глушителе (определяется акустическим расчетом), дБ; $\Pi(l)$ — величина, характеризующая заглушение звука в глушителе (дБ) при наличии потока (см. п. 7.7.10); значение $10 \lg \Pi(l)$ для цилиндрических звукопоглотителей определяется по табл. 7.21; M — геометрический параметр, значения которого для различных типов глушителей приведены в табл. 7.19.

¹ Написано И. М. Пичугиным.

Таблица 7.21

Значения величины $10 \lg \Pi(l)$ для глушителей с цилиндрическими пространственными звукопоглотителями (при скорости потока $15-60 \text{ м/с}$)

Относительное свободное сечение $F_{св}$, %	Число рядов звукопоглотителей n	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц				
		63	125	250	500	1000 и выше
50	1	0	0	0	0	
	2	2,1	1,5*	1	0,5	
	3	3,3	2,2	1,4	0,5	
	4	4,4	2,6	1,6	0,6	
	5	4,5	2,8	1,7	0,6	0
	6	4,9	2,9	1,7	0,6	
	7	5,2	3	1,8	0,6	
	8	5,4	3	1,8	0,6	
60	1	0	0	0	0	
	2	2,3	1,8	1,2	0,5	
	3	3,6	2,6	1,8	0,5	
	4	4,4	3,1	2,2	0,8	
	5	5	3,4	2,2	0,8	0
	6	5,4	3,6	2,2	0,8	
	7	5,8	3,8	2,3	0,8	
	8	6	3,9	2,3	0,8	
65	1	0	0	0	0	
	2	2,4	1,9	1,5	0,7	
	3	3,7	2,9	2,2	0,9	
	4	4,6	3,6	2,6	1	
	5	5,3	4	2,8	1	0
	6	5,8	4,2	2,9	1	
	7	6,3	4,4	3	1	
	8	6,6	4,6	3	1	
70	1	0	0	0	0	
	2	2,5	2,1	1,5	1	
	3	3,2	3,3	2,2	1,4	
	4	4,4	4	2,6	1,6	
	5	5,2	4,5	2,8	1,7	0
	6	5,8	4,9	2,9	1,7	
	7	6,3	5,2	3	1,8	
	8	6,7	5,4	3	1,8	

Величина скорости протекания потока входит в неявную форму как в правую, так и в левую часть равенства (7.9). Поэтому для расчета допустимой скорости протекания потока используют метод последовательных приближений.

Для этого необходимо выражение (7.9) записать в функциональной форме, используя для $v_{доп}$, от которой зависит $L_{руд.доп}$, различные индексы:

$$L_{руд.доп}[v_{доп}(n+1)] = L_{рвх} - \Delta L_{тр} - 10 \lg \Pi(l) - 10 \lg M[v_{доп}(n)] - 5 \text{ дБ}, \quad (7.10)$$

где $v_{доп}(n)$ и $v_{доп}(n+1)$ — допустимые скорости протекания потока, найденные в результате соответственно n или $(n+1)$ приближения.

Расчет начинают с произвольного выбора допустимой скорости потока $v_{доп.0}$, по которой определяют величину $10 \lg M(v_{доп.0})$ в выражении (7.10). По найденному значению $L_{руд.доп}$ с помощью графиков рис. 7.20, 7.21 находят допустимую скорость $v_{доп}$ для каждой частотной полосы. Наименьшее из значений скоростей выбирают в качестве допустимого. Вычисленная в первом приближении величина допустимой скорости служит исходной для второго приближения и т. д. Чтобы уменьшить число приближений, можно рекомендовать в качестве исходных величин $v_{доп.0}$ следующие вероятные значения скоростей, м/с:

Для глушителей выхлопа турбореактивных двигателей	30—45
Для глушителей систем перепуска газовых турбин	30—40
Для глушителей систем перепуска компрессоров	20—30
Для вентиляционных глушителей	10—15

7.8.3. Для глушителей типа СВ с пространственными цилиндрическими звукопоглотителями, в качестве которых используются сетчатые цилиндрические звукопоглотители диаметром 200 мм с наполнением мелкофракционным керамзитом (размер гранул 3—6 мм) параметр затухания Π (4) мало зависит от скорости потока. Экспериментальные численные значения величины $10 \lg \Pi$ (4), входящие в формулы (7.9), (7.10), которые могут быть использованы при скорости потока от 15 до 60 м/с, приведены в табл. 7.21.

Для глушителей пластинчатого и трубчатого типа величина $10 \lg \Pi$ (4) мала, и ею в области частот свыше 500 Гц можно пренебречь.

Пример (2) расчета допустимой скорости потока дан в конце главы.

7.9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЛУШИТЕЛЕЙ

7.9.1. Тип и размеры шумоглушащих устройств выбирают по наибольшим значениям требуемого снижения шума, полученным акустическим расчетом для разных точек, и по необходимой пропускной способности, т. е. необходимой площади абсолютного проходного (свободного) сечения глушителя $F_{св}$.

7.9.2. Необходимая площадь абсолютного свободного сечения глушителя связана с допустимой скоростью протекания воздушной или газовой смеси и определяется из соотношения

$$F_{св} \geq \frac{G}{v_{доп}} \text{ м}^2, \quad (7.11)$$

где G — расход воздуха или газовой смеси, протекающих через глушитель, м³/с; $v_{доп}$ — допустимая скорость протекания воздуха или газовой смеси в глушителе, м/с.

В глушителях всасывания газодинамических установок (например, ТРД, ГТУ, компрессорных) допустимая скорость воздуха обычно принимается не более 10—15 м/с в соответствии с допустимым противодавлением. При таких скоростях $F_{св}$ можно определять непосредственно из соотношения (7.11).

В выхлопных системах, в которых допускается повышенная по сравнению со всасывающим трактом скорость потока, допустимую скорость потока для вновь проектируемых глушителей определяют с учетом требуемого заглушения шума $\Delta L_{тр}$. В этих случаях задачу определения $v_{доп}$ и $F_{св}$ решают совместно методом последовательных приближений (см. п. 7.8.2 и 7.8.3).

7.9.3. Выбирать глушители для газодинамических установок легче всего по табличным данным эффективности глушителей различного типа, приведенным в п. 7.2—7.4 (табл. 7.2, 7.4, 7.7).

Однако табличными данными эффективности глушителей для систем выхлопа можно пользоваться, если выбранная скорость потока и исходные уровни звуковой мощности соответствуют указанным в таблицах. Если фактическая скорость потока в глушителе по конструктивным соображениям получается больше или исходные уровни звуковой мощности меньше указанных в табл. 7.7, фактическое заглушение шума в глушителях $\Delta L_{эф.гш}$ следует определять расчетом (см. п. 7.7.10).

7.9.4. В результате подбора по табл. 7.2, 7.4 и 7.7 или расчета глушителей, обладающих требуемой эффективностью, определяют внутренний диаметр D , и необходимое количество секций n (длину) для трубчатых глушителей; относительное свободное сечение $F_{св}$, % и длину l , м для пластинчатых глушителей, а также относительное свободное сечение $F_{св}$, % в число рядов n цилиндрических звукопоглотителей для глушителей типа СВ. Затем для пластинчатых глушителей

и глушителей с пространственными цилиндрическими звукопоглотителями, зная из формулы (7.11) величину абсолютного свободного сечения глушителя $F_{св}$, м², которое соответствует допустимой скорости потока $v_{доп}$, и учитывая выбранное по таблицам или принятое относительное свободное сечение $F_{св}$, %, необходимо определить общую поперечную площадь глушителя $F_{гш}$, м² из соотношения

$$F_{гш} = \frac{F_{св} (\text{м}^2)}{F_{св} (\%)} 100 (\%) \text{ м}^2. \quad (7.12)$$

7.9.5. Если скорость протекания потока в глушителе меньше $v_{доп}$ (см. п. 7.8), а $v_{доп} < 15$ м/с, то требуемую длину глушителя (кроме комбинированных) можно рассчитывать по формуле

$$l_{тр} = \frac{\Delta L_{тр} - \delta}{\Delta L_1} \text{ м}, \quad (7.13)$$

где $\Delta L_{тр}$ — расчетное требуемое заглушение шума в данной октавной полосе, дБ; δ — поправка на диффузность звукового поля, дБ; определяется по графику рис. 7.17; ΔL_1 — затухание (дБ) на 1 м длины глушителя; определяется по табл. 7.9—7.12.

Для вентиляционных глушителей, которые подбираются по таблицам эффективности на 1 м длины глушителя (табл. 7.3 и 7.5), требуемую длину определяют по упрощенной формуле

$$l_{тр} = \frac{\Delta L_{тр}}{\Delta L_1} \text{ м}. \quad (7.14)$$

В остальных случаях при подборе глушителей по табл. 7.1, 7.2, 7.4, 7.7 или расчете по формулам (7.6)—(7.8) длина шумоглушащих элементов должна быть такой, чтобы эффективность выбранного глушителя $\Delta L_{эф.гш}$ во всем диапазоне частот была не ниже $\Delta L_{тр}$.

Примечание. Допускается, чтобы в одной из октавных полос эффективность глушителя $\Delta L_{эф.гш}$ была меньше $\Delta L_{тр}$, но не более чем на 3 дБ.

7.9.6. При проектировании следует учитывать, что диссипативные глушители различного типа, а также отдельные элементы таких глушителей обладают максимальной акустической эффективностью в области различных частот. Определенной акустической эффективностью обладают также некоторые элементы газовой смеси, входящих в состав шумоглушащих устройств (эжекторные трубы, прямоугольные повороты, перфорированные насадки в конце эжекторной трубы и др.).

Пластинчатые глушители с тонкими щитами и цилиндрические звукопоглотители поглощают звуковую энергию в области высоких и в меньшей степени в области средних частот.

Звукопоглощающая облицовка внутренней поверхности секций, особенно при толстом слое, а также поворот с прямым поворотом обеспечивают снижение шума в области средних и низких частот. Облицовка эжекторной трубы и применение перфорированного насадка увеличивают заглушение в широком диапазоне частот, включая самые низкие.

Поэтому наиболее эффективными и экономичными являются комбинированные глушители, состоящие из нескольких элементов, обладающих разной эффективностью в различных частотных диапазонах. Примером могут служить глушители типа СВ (см. рис. 7.7) или пластинчатые глушители с последовательным расположением тонких и толстых щитов (см. рис. 7.5).

7.10. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Задание. Определить эффективность выхлопной системы бокса ТРД, включающей в себя необлицованный эжектор и глушитель типа СВ-4 ($D_{гд} = 7,2$ м, $F_{св} = 60\%$, $n = 8$, $l_{обл} = 10$ м) при скорости потока $v = 30$ м/с и исходном общем уровне звуковой мощности ТРД $L_{рпсх} = 165$ дБ. Спектр звуковой мощности ТРД приведен в табл. 7.22.

Таблица 7.22

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{рпсх}$, дБ	154	159	160	159	156	152	149	145

Решение. По формуле (7.3) определяем эффективность цилиндрических звукопоглотителей $\Delta L_{эф.м}$ при скорости потока $v = 30$ м/с, пользуясь табл. 7.12 и 7.14. Прибавляем эффективность тракта глушителя СВ-4

через глушитель $v_{доп.о} = 45$ м/с (значение скорости, определяемое при условии допустимого аэродинамического сопротивления и стойкости конструкции к разрушению). По принятому значению скорости протекания потока по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4G \cdot 100}{\pi F_{св} v_{доп}}} \quad (7.15)$$

определяем предварительную величину диаметра глушителя

$$D_0 = \sqrt{\frac{4G \cdot 100}{\pi \cdot 60 v_{доп.о}}} = 2,6 \sqrt{\frac{G}{\pi v_{доп.о}}} = 7 \text{ м}$$

По формуле (7.10) с использованием данных табл. 7.19 и 7.21 рассчитываем допустимый уровень удельной звуковой мощности генерируемого шума в первом приближении. При этом

$$S_0 = \frac{\pi D_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 49}{4} = 38 \text{ м}^2.$$

Расчет приведен в табл. 7.25.

Таблица 7.23

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\Delta L_{эф.м} (n) (n=8)$	дБ	Табл. 7.12, 7.14	7	13	20	36	58	84	84	93
$\Delta L_{эф.м.тракта}$	"	" 7.18 (п. 4)	18	20	20	20	20	20	20	20
$\Delta L_{эф.м.сум}$	"	—	25	33	40	56	78	107	104	113
$\Delta L_{эф.сум}$	"	Рис. 7.16	25	33	40	56	75	75	75	70
МП (I) ($M=S=39$ м ²)	—	Табл. 7.20	135	95	67	47	43	39	39	39
$L_{руд}$ (при $v=30$ м/с)	дБ	Рис. 7.20	106	102	99	93	87	85	82	75
$L_{рпсх}$	"	Табл. 7.22	154	159	160	159	156	152	149	145
$\Delta = L_{руд} - L_{рпсх} + \Delta L_{эф.сум}$	"	Ф-ла (7.8)	-23	-24	-21	-10	6	8	8	0
$E = \text{МП (I)} 10^{0,1 \Delta}$	—	Рис. 7.22	0,78	0,38	0,54	4,7	172	246	246	39
$1+E$	—	—	1,78	1,38	1,54	5,7	173	247	247	40
$10 \lg (1+E)$	дБ	—	2	1	2	8	22	24	24	16
$\Delta L_{эф.гд}$	"	Ф-ла (7.6)	23	32	38	48	53	51	51	54

(табл. 7.18), включающего в себя необлицованный эжектор, цоколь и облицовку секций $l_{обл} = 10$ м, и определяем максимальную суммарную эффективность глушителя $\Delta L_{эф.м.сум}$ без учета генерации шума. В эту характеристику вносим поправку на влияние обходных путей в соответствии с кривой I на рис. 7.16. Получаем $\Delta L_{эф.сум}$. Затем определяем эффективность глушителя по формулам (7.6)—(7.8) при скорости потока 30 м/с. Расчет сводим в табл. 7.23.

Пример 2. Задание. Определить допустимую скорость протекания потока в глушителе типа СВ, который включен в выхлопную систему испытательного бокса газодинамической установки.

Исходные данные. Уровень звуковой мощности установки $L_{рпсх}$ и величина требуемого заглушения $\Delta L_{тр}$, полученная из акустического расчета, приведена в табл. 7.24.

Для снижения шума выхлопной струи подходит глушитель типа СВ, относительное свободное сечение которого $F_{св} = 60\%$, общая длина звукопоглотителей $l = 8$ м ($n = 8$). Объемный расход газовой смеси через выхлопной тракт глушителя $G = 1000$ м³/с.

Решение. В соответствии с методикой п. 7.8 для первого приближения выбираем скорость потока

Затем по графику рис. 7.20, на котором по оси абсцисс отложена скорость протекания потока, а по оси ординат — уровень удельной звуковой мощности шума, генерируемого в глушителе с цилиндрическими звукопоглотителями, определяем для каждой частотной полосы свою допустимую скорость протекания потока (табл. 7.26). Наименьшую из величин скорости принимаем в качестве допустимой в первом приближении для всего частотного диапазона.

Таблица 7.24

Величина, дБ	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{рпсх}$	168	170	170	167	164	160	156	151
$\Delta L_{тр}$	30	39	44	48	52	50	45	35

Таблица 7.25

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{P_{всх}}$	дБ	Табл. 7.24	168	170	170	167	164	160	156	151
$\Delta L_{тр}$	»	» 7.24	30	39	44	48	52	50	45	35
$10 \lg \Pi (t)$	»	» 7.21	6	3,9	2,3	0,8	0	0	0	0
$10 \lg M = 10 \lg S_0 (S_0 = 38 \text{ м}^2)$	»	» 7.19	16	16	16	16	16	16	16	16
+5	»	—	5	5	5	5	5	5	5	5
$L_{P_{уд. доп1}}$	»	Ф-ла (7.10)	111	106	102,5	97	91	89	90	95

По значению допустимой скорости протекания потока $v_{доп1} = 34 \text{ м/с}$ уточняем внутренний диаметр глушителя;

$$D_1 = 2,6 \sqrt{\frac{G}{\pi v_{доп1}}} = 2,6 \sqrt{\frac{1000}{\pi \cdot 34}} = 7,9 \text{ м.}$$

Далее осуществляем аналогичный расчет со вторым приближением и в формулу (7.10) подставляем новые значения $D_1 = 7,9 \text{ м}$ и $S_1 = \frac{\pi \cdot 7,9^2}{4} = 49 \text{ м}^2$. Расчет сведен в табл. 7.27.

Очевидно, дальнейшие приближения дадут еще меньшее уточнение величины допустимой скорости протекания потока. Таким образом, за окончательную ве-

Таблица 7.25

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Допустимая скорость $v_{доп1}$, м/с	42	35	35	34	34	34	37	50

личину допустимой скорости протекания потока принимаем $v_{доп} = 30 \text{ м/с}$, а диаметр глушителя

$$D_{гл} = 2,6 \sqrt{\frac{1000}{\pi \cdot 30}} = 8,5 \text{ м.}$$

Таблица 7.27

Величина	Единица измерения	Ссылка	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{P_{всх}}$	дБ	Табл. 7.24	168	170	170	167	164	160	156	151
$\Delta L_{тр}$	»	» 7.24	30	39	44	48	52	50	45	35
$10 \lg \Pi (t)$	»	» 7.21	6	3,9	2,3	0,8	0	0	0	0
$10 \lg S_1 (S_1 = 49 \text{ м}^2)$	»	—	17	17	17	17	17	17	17	17
+5	»	—	6	5	5	5	5	5	5	5
$L_{P_{уд. доп2}}$	»	Ф-ла (7.10)	110	105	102	96	90	88	89	94
$v_{доп2}$	м/с	Рис. 7.20	40	32	85	32	32	32	36	50

8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

8.1.1. Материалы, способные поглощать звуковую энергию, широко применяются в различных шумоглушащих и звукопоглощающих конструкциях: в глушителях шума вентиляционных установок и газодинамических установок, в звукопоглощающих облицовках помещений, в штучных звукопоглотителях, в конструкциях акустических экранов и звукоизолирующих кожухов, в многослойных ограждающих конструкциях зданий (для улучшения звукоизоляции).

8.1.2. В звукопоглощающих конструкциях все волокнистые и сыпучие звукопоглощающие материалы должны применяться только в сочетании с защитными «акустически прозрачными» оболочками.

В помещениях общественного назначения и в производственных помещениях, где нет рабочих мест и отсутствуют производственные операции и процессы, связанные с повышенным уровнем вибрации, допускается применение жестких и полужестких звукопоглощающих плит без защитных оболочек.

8.2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ШУМОГЛУШАЩИХ И ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

8.2.1. Звукопоглощающие материалы помимо своего основного назначения должны удовлетворять целому ряду требований, связанных с конкретными условиями их работы в конструкциях.

8.2.2. Звукопоглощающие материалы для вентиляционных глушителей и для облицовки вентиляционных воздухопроводов выбирают в зависимости от назначения установок (приточная, рециркуляционная, вытяжная) и характера помещения, которое обслуживают установки. Если звукопоглощающий материал применяется в шумоглушащей конструкции приточной вентиляционной системы, он не должен выделять пыль (не пригодны, например, минеральные ваты, керамическая крошка). В вентиляционных системах, обслуживающих пожароопасные помещения, материалы не должны быть горючими. Материалы, применяемые для облицовки приточных вентиляционных камер, должны быть влагостойчивыми.

8.2.3. В глушителях шума, установленных во всасывающих трактах газодинамических установок, во избежание поломки изделия не должно выделяться даже мелких частиц звукопоглотителя. В глушителях на стороне выхлопа газодинамических установок материалы должны выдерживать высокие температуры, вибрации, а в ряде случаев — и воздействие водяного пара.

8.2.4. Материалы, применяющиеся в конструкциях звукопоглощающих облицовок, штучных звукопоглотителей и акустических экранов, должны отвечать всем физико-техническим и санитарно-гигиеническим тре-

Таблица 8.1

Звукопоглощающие материалы для шумоглушащих и звукопоглощающих устройств

Конструкция	Винипор полужесткий	Волокно супер-гольное базальтовое	Волокно супер-гольное стекловолокно	Плиты минераловатные полужесткие марки ПП-100	Керамзит мелко-фракционный	Волокно стекловатное бесцелочное	Бетонные звукопоглощающие блоки
Глушители приточных вентиляционных систем помещений всех категорий по пожарной опасности	+	+	+				
Глушители вытяжных вентиляционных систем помещений всех категорий				+			
Глушители подземных вентиляционных установок (для шахт, транспортных тоннелей и др.)			+				+
Глушители шахт всасывания турбореактивных, турбовинтовых и газотурбинных двигателей			+				
Глушители выхлопа турбовинтовых и газотурбинных двигателей с рабочей температурой до 200°C				+			
Глушители выхлопа турбореактивных и газотурбинных двигателей и газодинамических установок с рабочей температурой до 450°C				+		+	
Звукопоглощающие облицовки, штучные звукопоглотители и акустические экраны помещений категорий А, Б и В				+		+	
Звукопоглощающие облицовки, штучные звукопоглотители и акустические экраны помещений категорий Г и Д	+	+	+	+			

* Для помещений категорий Г и Д по пожарной опасности.

** В производственных помещениях с технологическим оборудованием, создающим вибрации, применять звукопоглощающие конструкции с минераловатыми плитами с защитной оболочкой из стеклоткань Э-0,1 можно только для облицовки стен.

Возможные заменители звукопоглощающих материалов

Заменители

Основной материал	пакля льняная обес- костренная ватино- привязная	отходы капронового волокна или капро- новой щетины	вата минеральная, изготовленная из центробежным способом	плиты минераловат- ные мягкие марки ПМ-50	полужесткие плиты из стекло- волокна марки ЦФД	цементный или кер фракции 3—6 мм	крошка из кирпича марки не менее 50 фракция 3—6 мм
Винипор полу- жесткий	—	Звукопоглощаю- щие облицовки по- мещений	—	—	—	—	—
Волокно супер- тонкое стеклянное и базальтовое	Глушители асбесто- вой газодинамиче- ских установок и глушители приточ- ных вентиляционных систем	Звукопоглощаю- щие облицовки, экраны и глушители приточных вентиля- ционных систем	—	—	—	—	—
Плиты минеро- ловатные полужес- ткие	—	—	Глушители выхло- па газодинамических установок с рабочей температурой до 200° С и глушители вытяжных вентиля- ционных систем	Глушители выхлопа газодинамических установок с рабочей температурой до 200° С и глушители вытяжных вентиля- ционных систем	Глушители вы- тяжных вентиля- ционных систем	—	—
Керамзит мелко- фракционный	—	—	—	—	—	Глушители вы- хлопа газодина- мических уста- новок с рабочей температурой до 400° С	Глушители выхлопа газодинамических установок с рабо- чей температурой до 400° С

бованиям, предъявляемым к строительным материалам, в зависимости от назначения помещения и характера протекающих в нем производственных процессов.

8.2.5. В табл. 8.1 приведен рекомендуемый перечень материалов, применение которых целесообразно и экономично решает основные задачи снижения производственного шума в промышленных и других зданиях с учетом обеспечения гигиенических требований и условий пожарной безопасности.

Можно применять и заменители. Однако, как правило, замена материалов является полноценной только с точки зрения звукопоглощающей способности. Так, замена винипора отходами капронового волокна или «щетины» потребует применения специальных щитов и защитной оболочки. Применение стекловолокна взамен минераловатных плит вызовет существенное удорожание конструкции, а замена плит минеральной ватой ухудшит гигиенические условия при изготовлении и монтаже глушителей.

В табл. 8.2 даны примеры возможной замены основных звукопоглощающих материалов. Так как почти все варианты замены являются менее экономичными по сравнению с основными материалами, применение заменителей требует особого обоснования.

8.3. ЗАЩИТНЫЕ ОБОЛОЧКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ШУМОГЛУШАЩИХ И ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

8.3.1. В звукопоглощающих конструкциях все волокнистые и сыпучие звукопоглощающие материалы могут применяться только в сочетании с защитными «акустически прозрачными» оболочками. Акустически прозрачной считается такая оболочка, которая практически не ухудшает звукопоглощающих свойств материала. В качестве таких оболочек применяются различные ткани, павинол марки «Авиапол» (ТУ 3-65, калининского завода «Искож»), металлические и пластмассовые сетки, перфорированные листы из металла и пластмасс.

8.3.2. Ткани применяются в случае необходимости защитить звукопоглощающий материал от выветривания под воздействием потока воздуха или газа в глушителях газодинамических и вентиляционных установок или от высыпания в звукопоглощающих конструкциях. Для шумоглушащих и звукопоглощающих устройств применяются два вида стеклянных тканей — марок Э-0,1 и СЭ (ССТЭ-6), ГОСТ 8481—61.

8.3.3. Сыпучие звукопоглощающие материалы (мелкофракционный керамзит или его заменители) могут применяться в конструкциях в сочетании с металлической сеткой. Для этой цели используются тканые сетки с размером ячейки 1,4×1,4 мм. Если такая сетка выполнена из проволоки толщиной 0,6—0,7 мм, она обеспечивает полную акустическую прозрачность, так как живое сечение такой сетки составляет более 40% всей поверхности, а размер ячейки 1,4×1,4 мм гарантирует от высыпания сыпучего звукопоглотителя, минимальный размер гранул которого равен 3 мм. В конструкциях, где принято сочетание керамики и тканой сетки этих же размеров, защитные оболочки из тканей не нужны. Применение сетки из жаропрочных материалов обеспечивает работоспособность конструкций при температуре до 400°С, а в ряде случаев и до 500°С.

В конструкциях глушителей и акустических облицовок с волокнистыми звукопоглощающими материалами применяются перфорированные листы: стальные, из алюминиевых сплавов или пластмасс. Толщина листов колеблется от 0,5 до 1,5—2 мм. Живое сечение, образуемое отверстиями перфорированных листов, должно составлять не менее 20% всей площади.

8.3.4. Для акустических облицовок помещений могут применяться в качестве защитных и одновременно

по декоративных оболочек павинол марки «Авиапол», а также сетки из пластмассы. Сетки могут быть любой формы, любого способа плетения при условии, что живое сечение ячеек будет не менее 20% всей площади.

Павинол «Авиапол» представляет собой негорючий материал, изготовленный из стеклоткани с односторонним покрытием антипирированной поливинилхлоридной массой в виде чередующихся полос наложения и полос перфораций, составляющих 24% общей площади. Павинол «Авиапол» выпускается разного цвета и рисунка.

8.3.5. Рекомендуемые сочетания звукопоглощающих материалов и оболочек для них приведены в табл. 8.3.

8.4. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

8.4.1. Винипор (первоначальное название — поропласт поливинилхлоридный) полужесткий (ТУ В-66-70) представляет собой материал белого или желтого цвета с мелкопористой структурой.

Винипор более устойчив к возгоранию, чем поропласт полиуретановый эластичный, и при горении не выделяет веществ, вредных для здоровья человека.

В звукопоглощающих конструкциях применяется полужесткий винипор плотностью 120 кг/м³.

8.4.2. Волокно супертонкое стеклянное (щелочное) (ТУ 21-01-224-69) представляет собой многослойный холст перепутанных штапельных волокон, скрепленных между собой силами естественного сцепления. Диаметр волокон не более 2—3 мк. По своим звукопоглощающим свойствам супертонкое стекловолокно является одним из самых эффективных материалов. Кроме того, волокно негорюче, тонкие волокна очень эластичны и не выделяют стеклянной пыли. В сочетании с защитными оболочками из капроновой или стеклянной ткани оно может применяться в вентиляционных глушителях приточных систем, обслуживающих пожароопасные помещения, а также для акустических облицовок помещений с нормальной влажностью воздуха. При повышенной влажности воздуха металлические конструкции, соприкасающиеся с волокном, должны быть защищены от коррозии, так как волокно имеет в своем составе щелочи. Рекомендуемая плотность набивки его в элементах шумоглушения составляет 17—25 кг/м³.

Супертонкое стеклянное волокно выпускается в виде уплотненных холстов средней плотностью 17 и 25 кг/м³ размерами 100×2000×1000 мм и 50×2000×1000 мм. Гигроскопичность волокна 50%.

8.4.3. Супертонкое базальтовое волокно (БСТВ) (ТУ 57-69) представляет собой слой перепутанных штапельных волокон диаметром не более 2 мк, скрепленных между собой силами естественного сцепления.

БСТВ выпускается в виде многослойных холстов размером 1150×1100 мм при толщине от 15 до 200 мм. Гигроскопичность базальтового волокна 2%.

Рекомендуемая плотность набивки 20 кг/м³. В настоящее время помимо холстов БСТВ выпускаются изделия марки БЗМ по ТУ 550-2-17-71, представляющие собой звукопоглощающие маты БСТВ, зашитые в оболочку из стеклоткани.

Изделия БЗМ выпускаются при средней плотности наполнителя 17 и 25 кг/м³ следующих размеров:

50×500×500 мм;	100×1000×500 мм;
50×1000×500 »;	100×1000×1000 »;
50×1000×1000 »;	200×1000×500 »;
100×500×500 »;	200×1000×1000 ».

Примечание. При использовании в звукопоглощающих и шумоглушающих конструкциях изделий БЗМ какие-либо защитные оболочки кроме конструктивных перфорированных или сетчатых покрытий не нужны.

Оболочки для шумоглушащих и звукопоглощающих конструкций

Звукопоглощающие конструкции										
Звукопоглощающие материалы	вентиляционные шумотелы				глушители шума газодинамических установок на стороне			акустические характеристики и размеры помещений (категории)		
	приточные системы помещений (категории)		вытяжные системы помещений всех категорий		всасывающих, турбинных, реактивных и поршневых двигателях	выхлопа газотурбинных и реактивных двигателей с рабочей температурой до 200°С	выхлопа газотурбинных и реактивных двигателей с рабочей температурой до 400°С			
	А, Б, В	Г и Д	Без оболочки	Без оболочки				Без оболочки	Без оболочки	Без оболочки
Вибропор	—	Без оболочки	—	—	Без оболочки	—	—	—	Перфорированный лист, стеклоткань Э-0,1	Перфорированный лист, стеклоткань Э-0,1
Волокно синтетическое стекловатное (целлюлозное) или базальтовое супертекстакс	Перфорированный лист и стеклоткань Э-0,1	Перфорированный лист и стеклоткань Э-0,1	—	—	—	Перфорированный лист и стеклоткань Э-0,1	—	—	Перфорированный лист, стеклоткань Э-0,1	Перфорированный лист, стеклоткань Э-0,1
Плиты минераловатные полужесткие	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Керамзит мелкофракционный	—	—	—	—	—	—	—	Сетка пермаплексная тканая	—	—
Волокно стеклянское бесшершавое	—	—	—	—	—	—	—	Перфорированный лист и стеклоткань ССТЭ-6	Перфорированный лист и стеклоткань Э-0,1	Перфорированный лист и стеклоткань Э-0,1
Пласти льняная обескостренная	—	Сетка или перфорированный лист	—	—	Сетка или перфорированный лист	—	—	—	—	—
Вата минеральная, леготельная, центробежным способом	—	—	—	—	—	Перфорированный лист и стеклоткань Э-0,1	—	—	—	—
Цементный пластифракций 3-6 мм	—	—	—	—	—	—	—	Сетка пермаплексная тканая	—	—
Крошка из кирпича мелкая не менее 50 фракций 3-6 мм	—	—	—	—	—	—	—	То же	—	—
Отходы капронового волокна или капроновой «щепины»	—	Сетка или перфорированный лист	—	—	—	—	—	—	—	Перфорированный лист
Плиты минераловатные мягкие	—	—	—	—	—	Перфорированный лист и стеклоткань Э-0,1	—	—	—	—

8.4.4. Плиты минераловатные полужесткие (ГОСТ 9573—72) представляют собой изделия, получаемые прессованием пропитанной крахмальной или фенольной связкой минеральной ваты. Для устройств шумоглушения подходят только плиты из ваты, изготовленной центробежным способом и имеющей диаметр элементарных волокон в пределах 5—10 мкм. При других способах изготовления вата не имеет необходимой устойчивости против вибраций. В шумоглушащих и звукопоглощающих конструкциях применяются плиты, имеющие среднюю плотность 50—100 кг/м³.

Несмотря на крахмальную или фенольную связку, элементарные волокна под воздействием воздушного потока могут выдуваться с поверхности звукопоглощающего материала. Чтобы избежать этого, необходимо применять защитную оболочку из стеклоткани.

8.4.5. Мелкофракционный керамзит (ГОСТ 9758—61) представляет собой искусственный пористый материал в виде гранул округлой формы.

Размеры гранул керамзита, идущего для изделий строительной промышленности, колеблются от 0,5 до 40 мм. Подходящим для устройств шумоглушения является мелкофракционный керамзит с размером гранул 3—7 мм.

В условиях резкой смены температур (от —40 до +450°С) при воздействии больших скоростей газоздушных потоков и сильных вибраций мелкофракционный керамзит в оболочке из проволочной сетки можно применять только при прочности на сжатие не менее 5 МПа (50 кгс/см²). Ряд сортов керамзита даже мелкой фракции под воздействием резкой смены температур в сочетании с вибрацией разрушается и оказывается непригодным для применения. Поэтому мелкофракционный керамзит применяют в глушителях выхода газа динамических установок только после испытания на стойкость к резким сменам температур и вибрациям. Испытания проводят в лабораторных условиях по специальным методикам.

Средняя плотность керамзита в звукопоглощающих конструкциях составляет 900—1100 кг/м³. Набивку керамзита производят с уплотнением на вибраторе. Керамзит применяют в цилиндрических глушителях (см. п. 7.4).

8.4.6. Стеклоплетенное бесшелочное волокно (ГОСТ 10727—64, марок НСО-10/200 и ВСО-10В) представляет собой разрыхленные пряди однонаправленных некрученных волокон со средним диаметром не более 10 мкм, вытягиваемых из расплава боросиликатного стекла с содержанием щелочей не более 2%. Плотность в свободном (разрыхленном) состоянии 30 кг/м³.

Волокно может применяться в устройствах шумоглушения газодинамических установок со стороны выхода при рабочей температуре до 400°С, а также в звукопоглощающих облицовках пожароопасных помещений и звукоизолирующих кожухов.

Наиболее целесообразная средняя плотность при набивке волокна в звукопоглощающих конструкциях составляет 100—120 кг/м³. При этом сохраняется его акустические свойства и обеспечивается необходимая упругость материала для придания ему виброустойчивости.

8.4.7. Маты ЦФД (СТУ 47-1107-65) представляют собой изделия из штапельных стекловолокон, скрепленных между собой связующим (фенолоспирты или водорастворимые фенолоформальдегидные смолы и пластифицирующие добавки). В качестве звукопоглощающего материала применяют маты со средней плотностью 35 кг/м³ в оболочке из стеклоткани марки Э-0,1.

Этот материал выделяет стеклянную пыль и может применяться только в вытяжных системах вентиляционных установок.

8.4.8. Звукопоглощающие бетонные блоки изготовляют из заполнителя фракции 0,5—5 мм (крошка гранитного, известкового щебня, керамзит и тому подобные материалы), который смешивают с цементом марки 500 и выше в соотношении 4:1 по весу и водой в количестве 6—7% веса сухой смеси. Полученную смесь укладывают в форму и вибрируют в течение 1—6 с. Отформованные изделия сутки выдерживают в формах в естественных условиях и пропаривают по обычной технологии или выдерживают во влажной среде 7 суток. Прочность получаемого материала 5—8 МПа (50—80 кгс/см²).

Звукопоглощающие бетонные блоки применяются в глушителях шума подземных аэродинамических установок.

8.5. ТАБЛИЦЫ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ ОБЛИЦОВОК И ШТУЧНЫХ ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЕЙ

8.5.1. Звукопоглощающие конструкции можно разделить на три группы:

- 1) облицовки из жестких однородных звукопоглощающих материалов без перфорированного покрытия;
- 2) звукопоглощающие облицовки с перфорированным покрытием;
- 3) штучные звукопоглотители.

Первые две группы звукопоглощающих облицовок наиболее просты в изготовлении и могут укрепляться либо непосредственно на поверхности ограждения, либо с воздушным промежутком. Произвольное изменение параметров конструкции облицовок недопустимо, так как это сильно меняет их акустические характеристики.

Штучные звукопоглотители отличаются более сложной конфигурацией и несколько своеобразным способом укрепления на поверхности ограждения.

8.5.2. Принципиальные схемы наиболее распространенных звукопоглощающих конструкций, реверберационные коэффициенты звукопоглощения, а также ссылки на соответствующие отдельным деталям и материалам конструкций ГОСТы и технические условия приведены в табл. 8.4, эквивалентные площади звукопоглощения штучных звукопоглотителей — в табл. 8.5.

Приведенные в табл. 8.4 реверберационные коэффициенты звукопоглощения и данные табл. 8.5 получены в результате измерений образцов материалов и конструкций в реверберационных камерах. Исключения составляют значения коэффициентов для октавной полосы 63 Гц, которые из-за ограниченного объема существующих измерительных камер достаточно точно определить невозможно. Поэтому приведенные в таблицах значения α для частоты 63 Гц получены экстраполяцией.

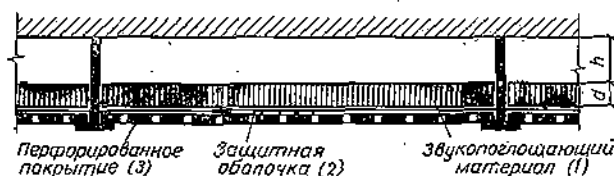
В табл. 8.5 приведены значения расстояний между центрами поглотителей и от поверхности ограждений, при которых акустические характеристики поглотителей были определены, так как изменение расстояний может привести к изменению звукопоглощающих свойств поглотителей.

8.5.3. В табл. 8.6 даны акустические характеристики звукопоглощающих облицовок для камерных глушителей и звукоизолирующих кожухов.

Акустические характеристики звукопоглощающих облицовок

№ п. п.	Изделие или конструкция, ГОСТ или ТУ	Средняя плотность звукопоглощающего материала $\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	Толщина слоя звукопоглощающего материала d , мм	Воздушный зазор h , мм	Реверберационный коэффициент звукопоглощения при среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц								Примечание
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Плиты ПА/О, минераловатные, акустические, размером 500×500 (ТУ 21-24-16-68)	150	20	0 (0,02)	0,03	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,20		Рекомендуется применять для общественных зданий
2	То же (ТУ 21-24-16-68)	160	20	50 (0,02)	0,05	0,42	0,98	0,9	0,79	0,45	0,19		То же
3	Винипор полужесткий (ТУ В-66-70)	120	30	0 (0,01)	0,16	0,25	0,56	0,85	1	1	1		—
4	То же (ТУ В-66-70)	120	60	0 (0,02)	0,18	0,56	0,85	0,95	1	0,97	0,97		—
5	Плиты ПА/С минераловатные акустические, отделка набрызгом, размер 500×500 (ТУ 21-24-16-68)	150	20	0 (0,02)	0,05	0,21	0,66	0,91	0,95	0,89	0,7		Рекомендуется применять для общественных зданий
6	То же (ТУ 21-24-16-68)	150	20	50 (0,02)	0,12	0,36	0,88	0,94	0,84	0,8	0,65		То же
7	Плиты «акмигран», минераловатные, размером 300×300 (ГОСТ 17918-72)	400	20	0 (0,02)	0,11	0,3	0,85	0,9	0,78	0,72	0,59		—
8	То же	400	20	50 (0,1)	0,2	0,71	0,88	0,81	0,71	0,79	0,65		—
9	»	400	20	200 (0,3)	0,48	0,71	0,7	0,79	0,77	0,62	0,59		—
10	Плиты АГП гипсовые с заполнением из минеральной ваты, перфорация по квадрату 13%, диаметр 4 мм, размером 810×810 (СТУ 73-32-12-64)	80	20	0 (0,03)	0,09	0,26	0,64	0,94	0,67	0,4	0,3		Рекомендуется применять для общественных зданий
11	То же (СТУ 73-32-12-64)	80	20	50 (0,03)	0,09	0,49	0,91	0,88	0,69	0,34	0,29		То же
12	Маты из супертонкого стекловолокна (ТУ 57-69); оболочка из стеклоткани ССТЭ-6 (ГОСТ 8481-61)	15	50	0 (0,1)	0,25	0,7	0,98	1	1	1	0,95		—
13	Маты из супертонкого базальтового волокна (ТУ 57-69); оболочка из декоративной стеклоткани (МРТУ 6-11-51-71)	20	50	0 (0,1)	0,2	0,9	1	1	0,95	0,95	1		—

Звукопоглощающие облицовки с перфорированным покрытием



14	(1) — минераловатная плита (ГОСТ 9573-72); (2) — стеклоткань 9-0,1 (ГОСТ 8481-61); (3) — гипсовая плита, перфорация по квадрату 13%, диаметр 10 мм, толщина 6 мм, размер 500×500 (ТУ 283-67)	80	60	0 (0,1)	0,31	0,7	0,95	0,69	0,59	0,5	0,3		Рекомендуется применять для общественных зданий
15	То же, но перфорация гипсовой плиты по рисунку 13%, диаметр 7-9 мм	80	60	0 (0,1)	0,31	0,95	0,99	0,8	0,52	0,46	0,42		То же

№ п. п.	Изделие или конструкция, ГОСТ или ТУ	Средняя плотность звукопоглощающего материала $\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	Толщина слоя звукопоглощающего материала d , мм	Воздушный зазор L , мм	Резерберационный коэффициент звукопоглощения при среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц								Примечание
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
16	(1) — минераловатная плита (ГОСТ 9573—72); (2) — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 8481—61); (3) — металлический лист, перфорация в «шахмат» 43%, диаметр 6 мм, размер 500×1000	80	60	0	(0,05)	0,18	0,63	0,9	0,94	1	1	0,95	—
17	(1) — минераловатная плита (ТУ 81-63); (3) — гипсовая плита, подклеенная бязью, перфорация по квадрату 13%, диаметр 10 мм, толщина 6 мм, размер 500×500 (ТУ 283-67)	150	70	0	(0,05)	0,42	0,95	1	0,75	0,6	0,51	0,35	Рекомендуется применять для общественных зданий
18	(1) — минераловатная плита (ТУ 81-63); (2) — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 8481—61); (3) — металлический лист толщиной 1,2 мм, перфорация по квадрату 33%, диаметр 3 мм	120	50	0	(0,03)	0,18	0,39	0,6	0,73	0,8	0,85	0,85	—
19	То же	120	50	100	(0,08)	0,27	0,53	0,69	0,76	0,92	0,87	0,87	—
20	(1) — прошивные минераловатные маты (ТУ 21-24-10-68); (3) — гипсовая плита, подклеенная бязью, перфорация по квадрату 13%, диаметр 10 мм, толщина 6 мм, размер 500×500 (ТУ 283-67)	100	100	0	(0,03)	0,42	0,81	0,82	0,69	0,58	0,59	0,58	Рекомендуется для общественных зданий
21	(1) — прошивные минераловатные маты (ТУ 21-24-10-68); (3) — гипсовая плита, подклеенная бязью, перфорация по рисунку 13%, диаметр 7—9 мм, толщина 6 мм, размер 500×500 (ТУ 283-67)	100	100	0	(0,05)	0,4	0,89	0,97	0,76	0,7	0,71	0,68	То же
22	(1) — прошивные минераловатные маты (ТУ 21-24-10-68); (2) — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 8481—61); (3) — металлический лист толщиной 1,2 мм, перфорация в «шахмат» 46%, диаметр 6 мм, размер 500×500	100	100	0	(0,05)	0,32	0,76	1	0,95	0,9	0,98	0,95	—
23	(1) — отходы капронового волокна, распущенные (ТУ 340-55, СТУ 1-168-62 и СТУ 1-202-62); (2) — сетка из стеклоткани ССТЭ-6 (ГОСТ 8481—61); (3) — металлический лист толщиной 1,2 мм, перфорация в «шахмат» 33%, диаметр 3 мм	100	50	0	(0,02)	0,15	0,46	0,82	0,92	0,83	0,93	0,93	—
24	То же	100	50	100	(0,1)	0,35	0,58	0,79	0,82	0,83	0,83	0,83	—
25	»	100	100	0	(0,23)	0,48	0,72	0,89	0,97	0,98	0,98	0,98	—
26	(1) — супертонкое стекловолокно, (ТУ 21-01-224-69); (2) — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 8481—61); (3) — гипсовая плита, перфорация по рисунку 13%, диаметр 7—9 мм, толщина 7 мм	15	100	0	(0,3)	0,66	1	1	1	0,96	0,7	0,55	—
27	То же	15	100	250	(0,4)	0,73	1	1	1	1	0,92	0,8	—
28	(1) — супертонкое стекловолокно (ТУ 21-01-224-69); (2) — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 8481—61); (3) — металлический лист толщиной 1,2 мм, перфорация по квадрату 24%, диаметр 5,5 мм	15	100	0	(0,15)	0,47	1	1	1	1	1	0,95	—
29	То же	15	100	250	(0,5)	0,93	1	1	1	1	1	1	—

№ п. п.	Изделие или конструкция, ГОСТ или ТУ	Средняя плотность звукопоглощающего материала $\rho_{ср}$, кг/м ³	Толщина слоя звукопоглощающего материала d , мм	Воздушный зазор b , мм	Ревверберационный коэффициент звукопоглощения при среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц								Примечание
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
30	(1) супертонкое стеклоолокно (ТУ 21.01-224-69); (2) — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 8481-61); (3) — асбестоцементная плита тол- щиной 4 мм, перфорация 25%, диаметр 6 мм	15	100	0	(0,1)	0,3	0,63	0,86	0,72	0,54	0,46	0,32	Рекоменду- ется для об- щественных зданий
31	То же	15	100	250	(0,5)	0,98	1	1	1	1	1	0,86	—

Таблица 8.5

Акустические характеристики штучных звукопоглотителей

№ п. п.	Конструкция	Звукопо- глощаю- щий слой		Расстоя- ние, мм		Эквивалентная площадь звукопоглощения (м ²) при среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц								Примеча- ние
		средняя плот- ность $\rho_{ср}$, кг/м ³	толщина слоя d , мм	между плит- ами b	от потолка до пологит- еля h	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Размер 400×400: (1) — металлический лист толщि- ной 2 мм, перфорация по квадрату 30%, диаметр 10 мм; (2) — стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 8481-61); (3) — супертонкое стекловолокну (ТУ 21.01-224-69)	15	60	2500	1250	(0,14)	0,4	0,75	1,23	1,14	1,05	0,82	0,67	—
2	То же	15	60	1500	1250	(0,08)	0,23	0,55	1,03	0,97	0,86	0,75	0,6	—
3	То же, но размер 320×320	15	60	2000	1000	(0,1)	0,16	0,37	0,68	0,84	0,66	0,52	0,37	—
4	То же	15	60	1000	1000	(0,05)	0,11	0,34	0,61	0,6	0,46	0,4	0,35	—
5	То же, но размер 240×240	15	60	1500	750	(0,03)	0,09	0,15	0,29	0,35	0,37	0,3	0,2	—
6	(1) — плиты ПА/С, минераловат- ные, отделка «набрызгом», размер 500×500 (ТУ 21-24-16-68); (4) — каркас из фанеры толщн- ной 3 мм	150	20	2500	1250	(0,85)	0,97	1,85	1,5	1,72	1,72	1,57	—	Куб пустоте- лый
7	То же	150	20	1500	1250	(0,66)	0,75	1,4	1,26	1,37	1,53	1,47	—	—
8	(1) — фанерный лист толщиной 4 мм, перфорация по квад- рату 23%, диаметр 10 мм, размер 500×500; (2) — бязь, пропитанная огне- стойким составом (артискул 208, ГОСТ 11680-65); (3) — минераловатные плиты (ТУ 31-63)	100	100	2500	1250	—	0,7	1,2	1,98	1,79	1,59	1,63	1,4	—
9	То же	100	100	1250	1250	—	0,81	1	1,7	1,72	1,39	1,58	1,2	—
10	Размер 600×300×300: (1) — перфорированный пазынол (эвипол) (ТУ 3-65); (3) — супертонкое стекловолокну (ТУ 21.01-224-69); (4) — металлический каркас	16	150	2000	500	—	0,18	0,45	0,65	0,56	0,52	0,48	0,6	Силошное заполне- ние

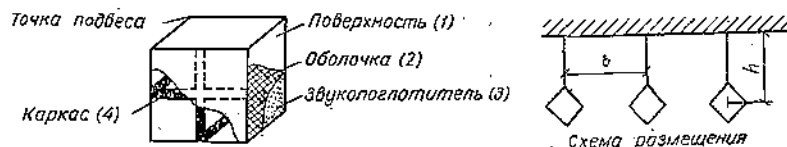


Таблица 8.6

Акустические характеристики звукопоглощающих облицовок для камерных глушителей
и звукоизолирующих кожухов

Название или конструкция	Средняя плотность звукопоглощающего материала $\rho_{ср}$, кг/м ³	Толщина слоя звукопоглощающего материала δ , мм	Воздушный зазор h , мм	Реварберационный коэффициент звукопоглощения при среднегеометрической частоте октавной полосы, Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Маты из отходов капронового волокна (ТУ 340-55, СТУ 1-168-62, СТУ 1-202-62)	100	50	—	(0,02)	0,15	0,48	0,82	0,92	0,93	0,93	0,93
		100	—	(0,23)	0,48	0,72	0,89	0,97	0,98	0,98	0,98
Маты из супертонкого стекляного волокна (ТУ 21-01-224-69) или из супертонкого базальтового волокна (ТУ 57-69) Стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 8481-61) Перфорированный металлический лист или сетка	15	100	—	(0,2)	0,47	1	1	1	1	1	1
	20		—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	50	—	(0,2)	0,35	0,9	1	1	0,95	0,95	1
	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—
Минераловатные плиты (ТУ 81-63 или ГОСТ 9673-72) Стеклоткань Э-0,1 (ГОСТ 8481-61) Перфорированный лист или сетка	120	50	—	(0,03)	0,18	0,39	0,6	0,73	0,8	0,85	0,88
	80	50	—	(0,05)	0,18	0,63	0,9	0,94	1	1	0,95

1. Борьба с шумом. Под ред. Е. Я. Юдина. М., Стройиздат, 1964.
2. Клячкин И. И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. Л., Судостроение, 1971.
3. Беразек Л. Л. Акустические измерения. М., ИЛ, 1952.
4. Осипов Г. Л. Шумы и звукоизоляция. М., Стройиздат, 1967.
5. Труды Гипроинавнапрома. М., вып. 1, 1967; вып. 7, 1970.
6. Славян И. И. Производственный шум и борьба с ним. М., Профиздат, 1955.
7. Научные труды НИИ Стройфизики. Госстроя СССР. М., вып. IV, 1967; вып. VII, 1969; вып. VIII, 1969; вып. 1 (VIII), 1970; вып. 2 (XIV), 1970.
8. Осипов Г. Л., Лопашов Д. З., Федосеева Е. Н., Ильяшук Ю. М. Измерение шума машин в оборудовании. Изд-во стандартов, 1968.
9. Борьба с шумами и вибрациями. М., Стройиздат, 1966.
10. Разумов И. К. Способы и организация борьбы с шумами и вибрациями на производствах. М., Профиздат, 1964.
11. ГСН. Машины. Методика выполнения измерений для определения шумовых характеристик ГОСТ 8.055-73.
12. Контюри Л. Акустика в строительстве. М., Гостройиздат, 1960.
13. Целлер В. Техника борьбы с шумами. М., Гостройиздат, 1958.
14. Эйхлер Ф. Борьба с шумом и звукоизоляция зданий. М., Гостройиздат, 1962.
15. Ржевский С. Н. Курс лекций по теории звука. МГУ, 1960.
16. Скучик Е. Основы акустики, т. 1 и 2. ИЛ, 1959.
17. Фурдуев В. В. Электроакустика. М., Гостехтеориздат, 1948.
18. Зарембо Л. К., Красильников В. А. Введение в нелинейную акустику. М., «Наука», 1959.
19. Карагодина И. Л., Осипов Г. Л., Шинкин И. А. Городские и жилищно-коммунальные шумы в борьбе с ними. М., «Медицина», 1964.
20. Заборов В. И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. М., Стройиздат, 1969.
21. Ковригин С. Д., Захаров А. В., Герасимов А. И. Борьба с шумами в гражданских зданиях (ударные и структурные шумы). М., Стройиздат, 1969.
22. Инструкция по измерениям звукоизоляции в зданиях. НИИСФ. М., Гостройиздат, 1959.
23. Временная инструкция по измерению динамических модулей упругости звуко- и виброизолирующих материалов. Челябинск, Уральский филиал АСИА СССР, 1961.
24. Боголепов И. И., Авферонов Э. И. Звукоизоляция на судах. Л., «Судостроение», 1970.
25. Никольский В. Н., Заборов В. И. Звукоизоляция крупнопанельных зданий. М., Стройиздат, 1964.
26. Вопросы звукоизоляции и архитектурной акустики. М., Гостройиздат, 1959.
27. Пособие по проектированию ограждающих конструкций зданий. Гл. 14. Звукоизоляция ограждающих конструкций. НИИ Стройфизики. М., Стройиздат, 1967.
28. Заборов В. И., Клячко Л. Н., Росин Г. С. Борьба с шумом методами звукоизоляции. М., Стройиздат, 1964.
29. Указания по расчету звукоизоляции от ударного шума междуэтажных перекрытий с полами на упругом основании и с рулонными полами. Челябинск, Уралгипропроект и НИИ строительной физики, 1965.
30. Указания по расчету звукоизоляции однослойных и раздельных ограждений от воздушного шума. Челябинск, Уралгипропроект и НИИ строительной физики, 1965.
31. Мякшин В. Н. Звукоизоляция строительных конструкций. Киев, 1956.
32. Юдин Е. Я., Осипов Г. Л., Федосеева Е. Н. и др. Звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы. М., Стройиздат, 1966.
33. Цвочкиер К., Костен К. Звукопоглощающие материалы. М., ИЛ, 1952.
34. Юдин Е. Я. Исследование шума вентиляционных установок в методах борьбы с ним. Труды ЦАГИ, вып. 713. Оборонгиз, 1958.
35. Вентиляторы общего назначения. Методы определения шумовых характеристик. ГОСТ 15529-70.
36. Указания по акустическому расчету вентиляционных установок. СН 399-69. М., Стройиздат, 1970.
37. Промышленная аэродинамика. Сб. № 14. М., Оборонгиз, 1959; № 18, 1960.
38. Berganek L. L. Noise Reduction. Mc. Graw-Hill Co., N. Y., 1962.
39. Berganek L. L. Acoustics. Mc. Graw-Hill Co., N. Y., 1954.
40. Haggis C. Handbook of Noise Control. Mc. Graw-Hill Co., N. Y., 1957.
41. Труды Всесоюзных акустических конференций.
42. Журналы: «Акустический журнал», «Journal of Sound and Vibrations», «Journal of the Acoustical Society of America», «Acustica», «Applied Acoustics».

Предисловие	Стр. 3	3.9. Приближенный расчет изоляции от ударного шума междуэтажных перекрытий в гражданских зданиях	51.
Глава 1		3.10. Кабины наблюдения и дистанционного управления, звукоизолированные укрытия	53
Основные понятия и определения		3.11. Звукоизолирующие кожухи	54
1.1. Звук, шум	4	3.12. Примеры расчета	56
1.2. Спектр шума	4	Глава 4	
1.3. Нормативный уровень звукового давления, оценка шума, допустимый уровень звукового давления	5	Звукопоглощающие облицовки помещений и акустические экраны	
1.4. Звуковая мощность, уровень звуковой мощности, шумовая характеристика	6	4.1. Общие положения	64
1.5. Звукоизоляция	6	4.2. Область применения звукопоглощающих облицовок	64
1.6. Реверберация, звукопоглощение, постоянная помещения, акустическая обработка помещений	7	4.3. Акустические характеристики помещений	64
1.7. Зона прямого и отраженного звука. Предельный радиус	8	4.4. Расчет и выбор конструкции звукопоглощающей облицовки	65
1.8. Звукопоглощающие и шумоглушащие конструкции и их акустические характеристики	8	4.5. Снижение шума при помощи акустических экранов	67
1.9. Сложение уровней в децибелах	8	4.6. Примеры расчета	70
Глава 2		Глава 5	
Акустический расчет и выбор мероприятий по снижению шума		Снижение шума вентиляционных установок	
2.1. Общие положения	9	5.1. Общие положения	75
2.2. Выявление источников шума и методы определения шумовых характеристик	9	5.2. Источники шума вентиляционных установок и их шумовые характеристики	75
2.3. Нормирование шума	10	5.3. Особенности акустического расчета вентиляционных установок	78
2.4. Определение уровней звукового давления в расчетных точках	12	5.4. Снижение уровней звуковой мощности в вентиляционной сети	79
2.5. Расчет требуемого снижения шума	17	5.5. Проектирование глушителей для вентиляционных установок	82
2.6. Выбор строительно-акустических мероприятий по снижению шума	18	5.6. Примеры расчета	83
2.7. Шумовые характеристики некоторых типов источников шума и оборудования	19	Глава 6	
2.8. Примеры расчета	24	Снижение шума газодинамических установок	
Глава 3		6.1. Общие положения	91
Звукоизоляция в жилых, общественных и промышленных зданиях		6.2. Компрессорные станции	91
3.1. Общие положения	27	6.3. Газотурбинные установки	92
3.2. Нормативные требования к звукоизоляции ограждающих конструкций	27	6.4. Стенды для испытания турбореактивных двигателей	94
3.3. Проектирование ограждающих конструкций (стен, перегородок и перекрытий)	30	6.5. Примеры расчета	96
3.4. Проектирование дверей и ворот	39	Глава 7	
3.5. Проектирование окон	43	Глушители шума, распространяющегося по каналам	
3.6. Рекомендации по звукоизоляции мест прохождения коммуникаций через ограждения	46	7.1. Общие положения	103
3.7. Приближенный расчет изоляции однослойных ограждений от воздушного шума	4	7.2. Трубчатые глушители	104
3.8. Приближенный расчет показателя изоляции от воздушного шума ограждений гражданских зданий	50	7.3. Пластинчатые глушители	107
		7.4. Глушители шума с пространственным цилиндрическим звукопоглотителем	109
		7.5. Глушители шума с каскадным поглотителем	111
		7.6. Камерные глушители	112

7.7. Методика расчета акустической эффективности глушителей	113
7.8. Методика определения допустимой скорости протекания потока в глушителе	119
7.9. Проектирование глушителей	120
7.10. Примеры расчета	121

Г л а в а 8

Звукопоглощающие материалы

8.1. Общие положения	123
--------------------------------	-----

8.2. Рекомендации по применению звукопоглощающих материалов в шумоглушащих и звукопоглощающих конструкциях	123
8.3. Защитные оболочки, применяемые в шумоглушащих и звукопоглощающих конструкциях	125
8.4. Физико-механические свойства звукопоглощающих материалов	125
8.5. Таблицы акустических характеристик звукопоглощающих облицовок и штучных звукопоглотителей	127

Литература	132
----------------------	-----

Под ред. д-ра техн. наук, проф.
Евгения Яковлевича Юдина
Справочник проектировщика
Защита от шума

* * *

Редактор издательства А. В. Болотина
Внешнее оформление художника Р. М. Ксеновой
Технический редактор Н. Г. Бочкова
Корректоры Л. С. Лелягина, Л. П. Атаманова

Сдано в набор 17/VII—1973 г. Подписано к печати 6/III—1974 г.
Формат 84×108¹/₁₆ — Бумага типографская № 2.
14,28 усл. печ. л. (уч.-изд. 19,55 л.)
Тираж 40.000 экз. Изд. № АХ—439. Зак. № 376. Цена 98 коп.

Стройиздат
103777, Москва, Кузнецкий мост, д. 9

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома¹
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
Москва, И-41, Б. Перенославская, 46.

