

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

А.И. Иванцов, А.С. Петров, В.Н. Куприянов

**ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ**

Учебное пособие

Казань
2021

УДК 699.844

ББК 85.11

И23

Иванцов А.И., Петров А.С., Куприянов В.Н.

И23 Звукоизоляция ограждающих конструкций: Учебное пособие / А.И. Иванцов, А.С. Петров, В.Н. Куприянов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2021. – 96 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В учебном пособии рассмотрены теоретические основы распространения звука в воздухе и в ограждающих конструкциях. Описаны характеристики звукоизоляции ограждающих конструкций и их определение расчетными методами. Подробно рассмотрены практические способы увеличения звукоизоляции. Приведены числовые примеры по расчету звукоизоляции ограждающих конструкций.

Пособие предназначено для использования в учебном процессе при изучении курсов «Архитектурная физика», «Строительная физика», Физика среды и ограждающих конструкций» студентами очной и заочной формы обучения по направлениям подготовки 07.03.01 «Архитектура», 08.03.01 «Строительство» и по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений». А также может быть полезно работникам проектных организаций.

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Архитектура» КазГАСУ

А.О. Попов

Кандидат технических наук, директор ООО «РС-Концепт»

Р.И. Шафигуллин

УДК 699.844

ББК 85.11

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2021

© Иванцов А.И., Петров А.С.,
Куприянов В.Н., 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Термины и определения.....	6
Глава 1. Распространение шумов в зданиях.....	8
Глава 2. Теоретические основы звукоизоляции ограждающих конструкций.....	12
2.1. Звукоизоляция однослойных конструкций	14
2.2. Отклонения от закона «массы». Эффект «волнового совпадения»	17
2.3. Звукоизоляция многослойных конструкций	20
2.4. Звукоизоляция неоднородных ограждений	24
Глава 3. Нормативные характеристики звукоизоляции ограждающих конструкций.....	27
3.1. Изоляция воздушного шума	27
3.2. Изоляция ударного шума.....	31
3.3. Нормирование звукоизоляции ограждающих конструкций. 33	
Глава 4. Определение звукоизоляции ограждающих конструкций	36
4.1. Определение характеристик изоляции воздушного шума	36
4.1.1. Построение частотной характеристики изоляции воздушного шума	36
4.1.1.1. Построение частотной характеристики изоляции воздушного шума массивными ограждающими конструкциями 36	
4.1.1.2. Построение частотных характеристик изоляции воздушного шума тонколистовыми ограждающими конструкциями	42
4.1.1.3. Построение частотных характеристик изоляции воздушного шума ограждением из двух плоских тонких листов одинаковой толщины с воздушным промежутком между ними..	45
4.1.1.4. Построение частотных характеристик изоляции воздушного шума ограждением из двух плоских тонких листов разной толщины с воздушным промежутком между ними	50
4.1.1.5. Построение частотных характеристик изоляции воздушного шума каркасно-обшивной перегородкой при заполнении воздушного промежутка пористым или пористо-волокнистым материалом.....	53

4.1.2. Определение индекса изоляции воздушного шума ограждениями R_w	57
4.1.2.1. Определение индекса изоляции воздушного шума ограждениями R_w с использованием их частотных характеристик	57
4.1.2.2. Определение индекса изоляции воздушного шума ограждениями R_w без использования их частотных характеристик	59
4.1.3. Определение звукоизоляции транспортного шума $R_{Атран}$..	61
4.1.4. Определение индекса изоляции воздушного шума R_w междуэтажным перекрытием со звукоизоляционным слоем.....	63
4.2. Определение характеристик изоляции ударного шума	67
4.2.1. Определение индекса приведенного уровня ударного шума междуэтажным перекрытием	67
4.2.1.1. Определение индекса приведенного уровня ударного шума ограждениями $L_{пw}$ с использованием их частотных характеристик	67
4.2.1.2. Определение индекса приведенного уровня ударного шума междуэтажным перекрытием с полом на звукоизоляционном упругом слое $L_{пw}$ без использования их частотных характеристик	69
Глава 5. Практические способы увеличения звукоизоляции	73
5.1. Основные приемы увеличения звукоизоляции ограждающих конструкций.....	73
5.2. Конструктивные решения звукоизоляции ограждающих конструкций.....	74
5.2.1. Бескаркасная звукоизоляция стен и потолков.....	76
5.2.2. Каркасная звукоизоляция стен и потолков.....	78
5.3. Практические способы увеличения звукоизоляции ударного шума ограждающих конструкций.....	81
Приложение А. Требуемая звукоизоляция ограждающих конструкций.....	86
Приложение Б. Величина звукоизоляции некоторых ограждающих конструкций.....	91
Литература.....	94

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всего периода существования люди живут в окружении звуков. Одни звуки несут полезный эффект, передавая до 10% всей воспринимаемой человеком информации. Другие звуки являются нежелательными, их называют шумом. В зависимости от уровня шума, его спектральных и временных характеристик, шум может оказывать неблагоприятное воздействие не только на слух человека, но и на другие системы организма.

При уровне шума от 30 до 60 дБ в основном наблюдается психологическая реакция: от раздражения и утомления до испуга и стресса. Степень воздействия на психику возрастает с увеличением частоты звука и уменьшением ширины полосы частот шумового сигнала. Начиная с 70 дБ, проявляются физические реакции организма человека на шум. Могут иметь место нервные расстройства, нарушение сна, повреждение слуха, нарушение кровообращения и многое другое.

Комплексное воздействие шума на организм приводит к тому, что у человека возникает целый ряд нарушений в состоянии здоровья, который получил название «шумовой болезни». Особенно ярко она проявляется у жителей больших городов, где общий шумовой фон повышается непрерывно на 0,5 дБА в год.

С целью ограничения уровня шума в помещениях зданий на этапе проектирования необходимо предусматривать ограждающие конструкции с определенной звукоизоляцией.

Данное пособие содержит основные теоретические аспекты изоляции шума различной природы, а также практические рекомендации по увеличению звукоизоляции ограждающих конструкций. Представлены методы определения характеристик звукоизоляции различных ограждающих конструкций на стадии проектирования.

Пособие будет полезно как для студентов различного уровня обучения, так и для специалистов строительного профиля.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данном учебном пособии применены следующие термины с соответствующими определениями.

1. Изоляция воздушного шума R ограждающей конструкцией, дБ – способность ограждающей конструкции уменьшать проходящий через нее звук. В общем виде представляет собой десятикратный десятичный логарифм отношения падающей на ограждение звуковой энергии к энергии, прошедшей через ограждение.

2. Изоляция ударного шума перекрытием – величина, характеризующая снижение ударного шума перекрытием.

3. Частотная характеристика изоляции воздушного шума $R(f)$ ограждающей конструкцией, дБ – значения изоляции воздушного шума R ограждающей конструкцией в каждой из третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами f , Гц, в диапазоне от 100 до 3150 Гц, или в каждой из октавных полос со среднегеометрическими частотами от 125 до 4000 Гц, представляемые в табличной или графической форме.

4. Приведенный уровень ударного шума под перекрытием; L_n , дБ – значение, характеризующее изоляцию ударного шума перекрытием, условно приведенная к значению эквивалентной площади звукопоглощения в защищаемом помещении.

5. Частотная характеристика приведенного уровня ударного шума под перекрытием – значения приведенных уровней ударного шума под перекрытием L_n , дБ в каждой из третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами f , Гц, в диапазоне от 100 до 3150 Гц, или в каждой из октавных полос со среднегеометрическими частотами от 125 до 4000 Гц, представляемые в табличной или графической форме.

6. Индекс изоляции воздушного шума; R_w – значение, служащее для оценки звукоизолирующей способности ограждающей конструкции одним числом, определяется сопоставлением частотной характеристики изоляции воздушного шума со специальной оценочной кривой, дБ.

7. **Индекс приведенного уровня ударного шума; L_{nw}** – значение, служащее для оценки изолирующей способности перекрытия одним числом, определяется сопоставлением частотной характеристики изоляции воздушного шума со специальной оценочной кривой, дБ.

8. **Звукоизоляция окна $R_{Атран}$ дБА** – величина, служащая для оценки одним числом изоляции внешнего шума, создаваемого городским транспортом, при передаче его внутрь помещения через окно.

9. **Акустический импеданс Z** – комплексное акустическое сопротивление среды, характеризует сопротивление, которое среда оказывает колеблющейся поверхности.

Глава 1. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ШУМОВ В ЗДАНИЯХ

Создание звукового комфорта в помещениях зданий любого назначения является такой же значимой целью проектирования, как, например, создание теплового или светового комфорта. Нормативные документы по проектированию зданий устанавливают требования к допустимому уровню шума в помещениях различного назначения. Нормирование шума в помещениях ведется через уровни звукового давления в октавных полосах частот L , дБ (от 31.5 до 8000 Гц), эквивалентный $L_{Aэкв}$, дБА и максимальный уровни звука $L_{Aмакс}$, дБА. В табл. 1.1 приведена выдержка из таблицы СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003» с нормативными уровнями звука для помещений различного назначения.

В помещения зданий звук может попадать различными путями. В зависимости от расположения источника шума по отношению к помещениям здания источники шума в окружающей человека среде можно разделить на два типа: внутренние и внешние (по отношению к человеку, находящемуся в здании). К внутренним источникам шума относятся инженерное, технологическое, бытовое и санитарно-техническое оборудование зданий, а также источники шума, непосредственно связанные с жизнедеятельностью людей в помещениях (музыка, разговор, танцы и т.п.). Внешними источниками шума являются различные средства транспорта (наземные, водные, воздушные), промышленные и энергетические предприятия и учреждения, а также различные источники шума внутри кварталов, связанные с жизнедеятельностью людей (например, спортивные и игровые площадки и др.).

Помимо расположения источника шума по отношению к помещениям здания шумы, распространяющиеся в зданиях, подразделяются на воздушные и ударные (корпусные).

Таблица 1.1

Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий

Назначение помещения	Время суток, ч	Уровни звукового давления L, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровень звука L _A , дБА	Максимальный уровень звука L _{Amax} , дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Классные помещения, учебные кабинеты		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55	
Жилые комнаты квартир	7.00–23.00	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55	
	23.00–7.00	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45	
Жилые комнаты общежитий	7.00–23.00	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60	
	23.00–7.00	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50	
Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, конструкторских, проектных и научно-исследовательских организаций		86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	65	
Залы кафе, ресторанов		89	75	66	59	54	50	47	45	43	55	70	
Спортивные залы		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	—	

Воздушный шум создают источники, излучающие звуковые волны непосредственно в воздушную среду (речь человека, динамики, громкоговорители и т.п.). Основным путем проникновения воздушного шума в смежные помещения являются отверстия, щели и неплотности, когда звуковая волна распространяется от источника шума по воздуху непосредственно до приемника сигнала. При отсутствии воздушной связи между помещениями воздушный шум передается в смежные помещения посредством колебания ограждающих конструкций: источник звука приводит в колебательное движение частицы воздуха, которые сообщают периодические колебания стене или перекрытию, побуждая частицы материала ограждений колебаться, что в свою очередь приводит частицы воздуха в соседнем помещении в колебательное движение.

Для возникновения ударного шума необходимо непосредственное механическое воздействие источника шума на ограждающую конструкцию. При механическом (ударном) воздействии на конструкцию последняя приводится в колебательное движение и передает его частицам воздуха в смежном помещении, вызывая звуковую волну.

Энергия колебательного движения конструкций при механическом (ударном) воздействии, как правило, выше, чем при воздействии воздушного шума. В силу этого, ударный шум способен вызвать колебательное движение не только конструкции, на которую прикладывается воздействие, но и смежных с ней конструкций, вызывая косвенную передачу звука.

Звук, распространяемый по конструкциям здания косвенными путями, часто называют структурным шумом.

Вне зависимости от типа источника и вида создаваемого им шума основным путем передачи звука в изолированное помещение из окружающей среды являются ограждающие конструкции. Основным свойством конструкций, определяющим степень прохождения звука сквозь нее, является звукоизоляция. Чем большей звукоизоляцией обладает ограждающая конструкция, тем большее количество проходящего сквозь нее звука задерживается, и как следствие создается меньший уровень звукового давления в изолированном помещении.

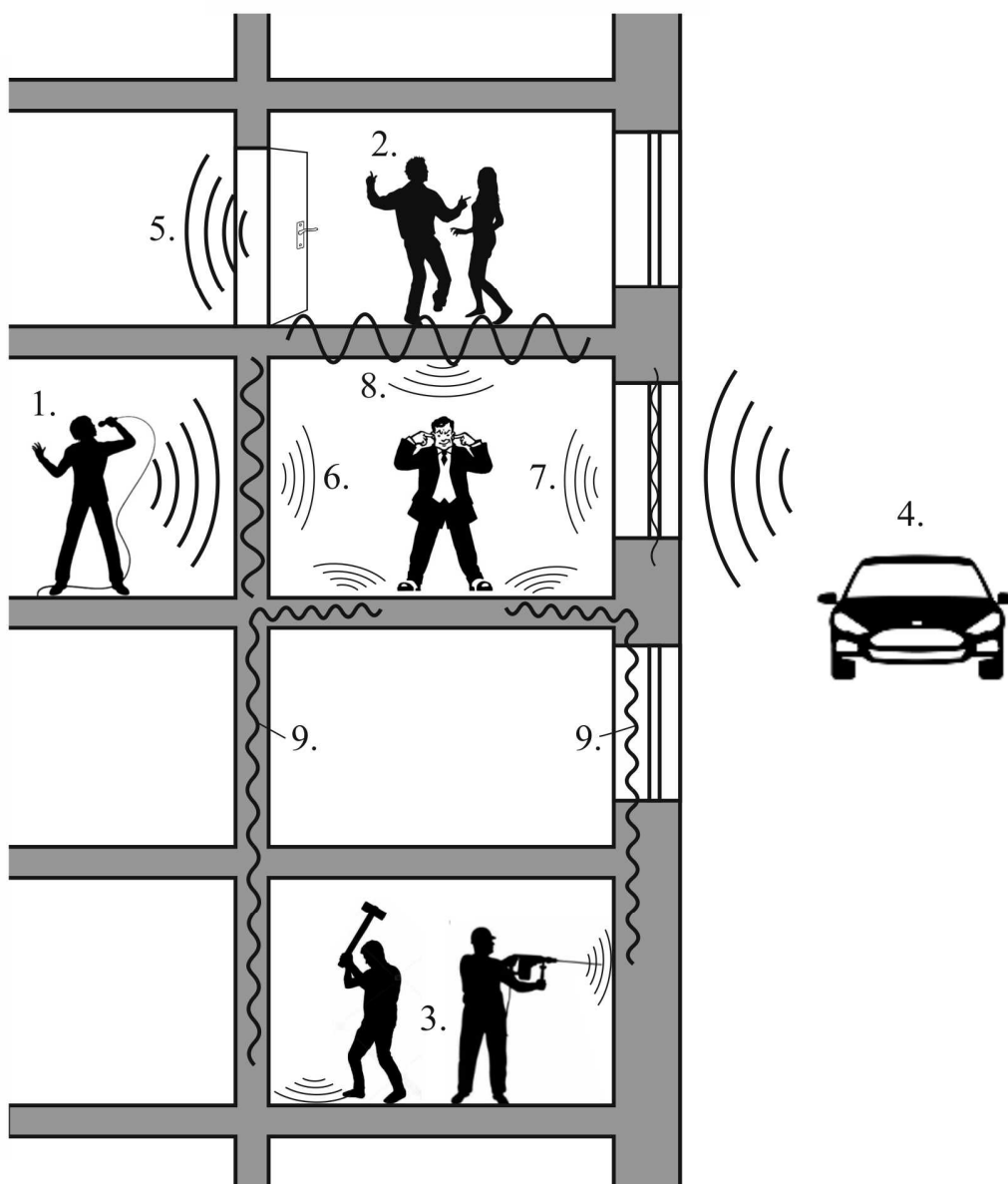


Рис. 1.1. Распространения шумов в зданиях:

1 – внутренний источник воздушного шума; 2 – внутренний источник ударно-воздушного шума; 3 – внутренний источник структурного шума; 4 – внешний источник воздушного шума; 5 – прямой путь передачи воздушного шума через открытый проем; 6, 7 – прямой путь передачи воздушного шума через ограждение; 8 – прямой путь передачи ударного шума через ограждение; 9 – косвенный путь передачи структурного шума

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

При падении звуковой волны на ограждающую конструкцию часть звуковой энергии волны отражается от нее, часть энергии поглощается конструкцией и переходит в тепловую, а часть – передается в смежное помещение (рис. 2.1).

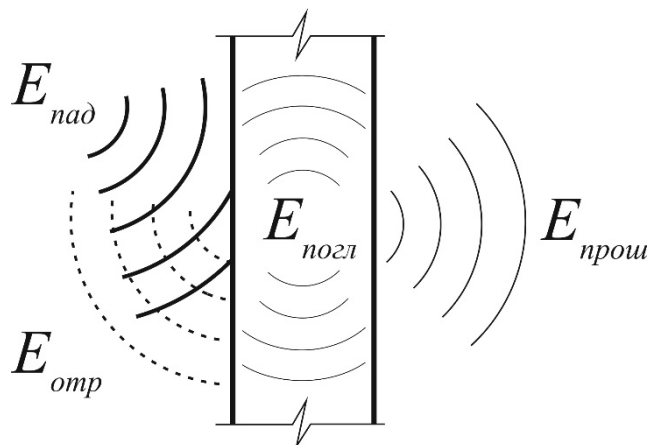


Рис. 2.1. Схема передачи звуковой энергии через конструкцию:
 $E_{пад}$ – падающая на конструкцию звуковая энергия; $E_{погл}$ – поглощенная звуковая энергия; $E_{прош}$ – прошедшая звуковая энергия; $E_{отр}$ – отраженная звуковая энергия

В силу закона сохранения энергии справедлива зависимость:

$$E_{пад} = E_{отр} + E_{погл} + E_{прош}. \quad (2.1)$$

Разделив обе части равенства на $E_{пад}$ получим следующее:

$$1 = \frac{E_{отр}}{E_{пад}} + \frac{E_{погл}}{E_{пад}} + \frac{E_{прош}}{E_{пад}} \quad (2.2)$$

Каждое из слагаемых в выражении (2.2) называют коэффициентом: отражения, поглощения и прохождения, соответственно.

$\eta = E_{отр} / E_{пад}$ – коэффициент отражения;

$\alpha = E_{погл} / E_{пад}$ – коэффициент поглощения;

$\tau = E_{прош} / E_{пад}$ – коэффициент прохождения.

Очевидно, что из (2.2) следует

$$\alpha + \eta + \tau = 1. \quad (2.3)$$

Так как под звукоизоляцией понимают способность ограждающей конструкции препятствовать прохождению сквозь себя звуковой энергии, то оценивать звукоизоляцию ограждающей конструкции принято отношением обратным коэффициенту прохождения – $E_{над}/E_{прош} = 1/\tau$. Численное значение звукоизоляции в дБ обозначается R и определяется:

$$R = 10 \lg(1/\tau) = 10 \lg \left(\frac{E_{над}}{E_{прош}} \right), \text{ дБ.} \quad (2.4)$$

Таким образом, под звукоизоляцией конструкции от воздушного шума R , дБ понимается логарифм отношения звуковой энергии, падающей на конструкцию, к звуковой энергии, прошедшей сквозь нее.

Звукоизолирующие свойства ограждающей конструкции зависят от частоты падающей звуковой волны, свойств материала, из которого оно изготовлено, конструкции самого препятствия. Существенное значение при этом имеет соотношение акустических импедансов Z соприкасающихся сред: чем больше разница акустических импедансов, тем больше энергии отражается от препятствия и тем выше эффект звукоизоляции.

Стоит отметить, что эффект звукоизолирующих конструкций возможен лишь потому, что в любых помещениях всегда имеется более или менее заметное поглощение звука. Не будь этого поглощения, звуковой уровень при постоянной работе источника непрерывно возрастал бы, что в конечном счете свело бы к нулю полезный эффект звукоизолирующих конструкций. Таким образом, эффективная шумозащита требует совместного использования применения звукоизолирующих и звукопоглощающих конструкций.

С точки зрения звукоизоляции, ограждающие конструкции разделяются на однослойные и многослойные. К однослойным относят конструкции, состоящие из одного или нескольких материалов, жестко связанных между собой и колеблющихся как единое целое (например, оштукатуренная кирпичная перегородка).

К многослойным ограждениям относят конструкции, состоящие из нескольких слоев, не связанных жестко друг с другом и способных колебаться с различной амплитудой. Между

слоями может быть как воздушный промежуток, так и легкое звукопоглощающее заполнение.

2.1. Звукоизоляция однослойных конструкций

Так как эффект изоляции звука основан на его отражении, то для изоляции звука в воздухе, т.е. в среде с малым акустическим сопротивлением, следует применять преграды из материалов с большим акустическим сопротивлением (металлы, дерево, твердые пластмассы).

Коэффициент прохождения звука τ , падающего нормально на границу двух сред можно определить по коэффициенту отражения η , который определяется через акустические импедансы Z граничащих сред

$$\eta = \left[\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right]^2, \quad (2.5)$$

где Z_1 – акустический импеданс воздушной среды; Z_2 – акустический импеданс ограждающей конструкции.

Акустический импеданс или комплексное акустическое сопротивление среды, по своей сути, характеризует сопротивление, которое среда оказывает колеблющейся поверхности.

В воздушной среде акустический импеданс определяется удельным акустическим сопротивлением среды:

$$Z = \rho c, \quad (2.6)$$

где ρ – плотность среды; c – скорость звука в среде.

Для воздуха $\rho \cdot c = 420 \times 10^5 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$.

Для колеблющегося массивного твердого тела акустический импеданс включает как инерционное сопротивление самой конструкции, так и волновое сопротивление среды за ней, т.е.:

$$Z_2 = i\omega m + \rho c, \quad (2.7)$$

где i – мнимая единица; ω – угловая частота колебания ограждения; m – поверхностная плотность ограждающей конструкции (масса одного квадратного метра ограждения в $\text{кг}/\text{м}^2$).

Для твердых ограждающих конструкций звукопоглощение, как правило, намного меньше отражающей способности ($\alpha \ll \eta$), поэтому выражение (2.3) можно записать в виде: $\eta + \tau = 1$.

С учетом этого, а также выражения (2.5) коэффициент прохождения τ можно определить как:

$$\tau = 1 - \eta = 1 - \left[\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right]^2 = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}. \quad (2.8)$$

С учетом (2.5) и (2.7) имеем:

$$\tau = 1 - \left[\frac{-i\omega m}{2\rho c + i\omega m} \right]^2. \quad (2.9)$$

Проделав несложные преобразования, получим

$$\tau = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega m}{2\rho c} \right)^2}. \quad (2.10)$$

Принимая во внимание, что $\omega = 2\pi f$ (f частота колебания в Гц) из определения звукоизоляции (2.4) получим:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\pi f m}{\rho c} \right)^2 \right]. \quad (2.11)$$

Формула (2.11) известна под названием «закон массы» при нормальном падении звуковых волн.

При наклонном падении звуковой волны на ограждающую конструкцию под углом θ к нормали импеданс препятствия определится как $Z = i\omega m \cdot \cos \theta$, а звукоизоляция, соответственно:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\pi f m \cdot \cos \theta}{\rho c} \right)^2 \right]. \quad (2.12)$$

Как видно, звукоизоляция ограждающей конструкции при наклонном падении звука уменьшается. В реальных условиях звуковое поле, воздействующее на конструкцию, является диффузным, т.е. в нем все углы падения звуковых волн на ограждение равновероятны.

Это уменьшает звукоизоляцию, по мнению ряда исследователей на величину порядка 5 дБ. Тогда, подставляя численные значения π и ρc для воздуха, получим из (2.11):

$$R = 20 \lg fm - 47,5. \quad (2.13)$$

Выражение (2.13) известно как закон массы в общем виде.

Из (2.13) следует, что при увеличении частоты или массы вдвое звукоизоляция увеличивается на 6 дБ. Таким образом, звукоизоляция увеличивается на 6 дБ в каждой последующей октавной полосе.

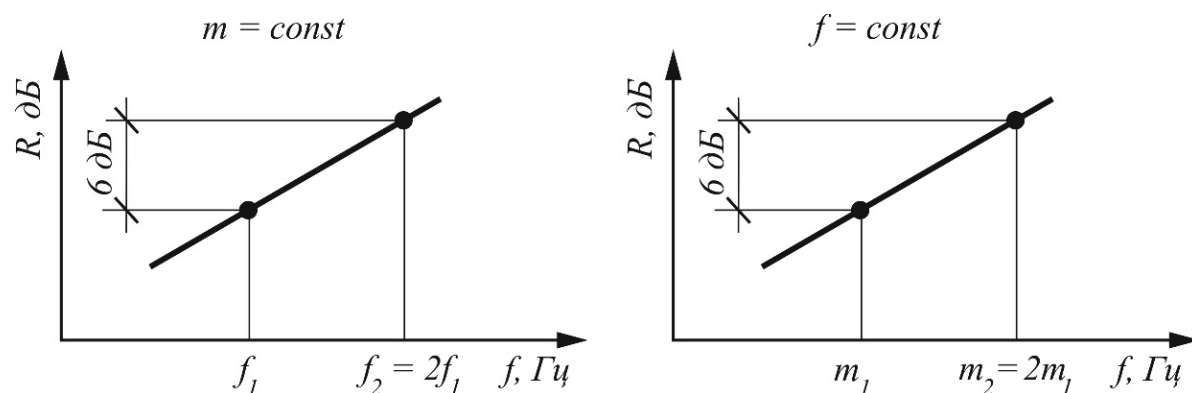


Рис. 2.2. Увеличение звукоизоляции на 6 дБ при увеличении частоты звука или массы ограждающей конструкции в 2 раза согласно закону массы

Звуки низкой частоты легче проникают через ограждение, высокой – труднее. Для объяснения этого явления приведем следующий пример. При открывании двери, снабженной пружиной, если медленно увеличивать силу нажима, мы почувствуем упругое сопротивление пружины. Если же быстро толкать дверь, то сопротивляться толчку будет дверь, масса которой окажет инерционное сопротивление.

Подобного рода инерционное сопротивление оказывает ограждение действующим на него звуковым волнам. Если низкие частоты, при которых давление на ограждение действует медленно, смогут его раскачать и привести в колебание, то высокие частоты, при которых давление будет действовать кратковременно, не смогут преодолеть инерцию ограждения и привести его в колебание. Поэтому под воздействием низких частот ограждение, колеблясь, будет передавать в соседнее помещение больше звуковой энергии, чем под воздействием частот высоких, и, следовательно, звукоизоляция ограждения с ростом частоты действующих на него звуковых волн увеличивается.

2.2. Отклонения от закона «массы». Эффект «волнового совпадения»

Согласно закону массы (2.13) звукоизоляция конструкции должна непрерывно возрастать при увеличении частоты падающего звука. Однако на практике этого не наблюдается по ряду причин.

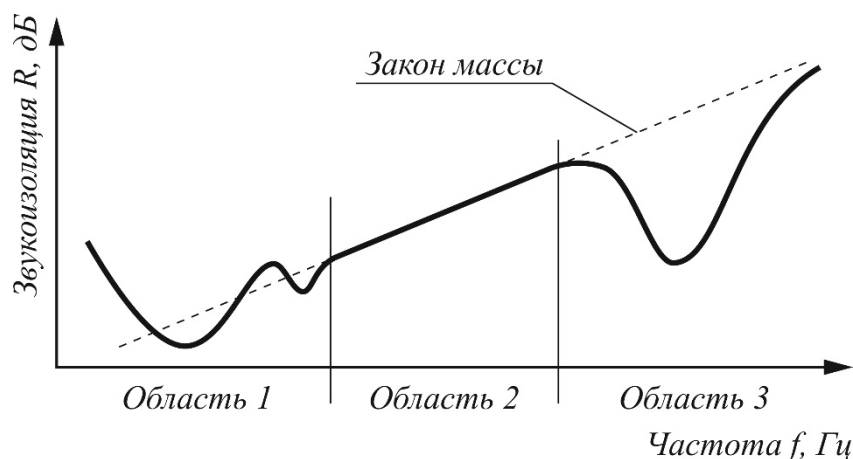


Рис. 2.3. Характерная частотная характеристика изоляции воздушного шума однородного ограждения

На рис. 2.3 приведена характерная экспериментальная частотная характеристика звукоизолирующей способности $R(f)$ однородного ограждения для воздушного шума. На ней можно выделить три области:

- 1 – область резонансов (на низких частотах);
- 2 – область закона массы;
- 3 – область «волновых совпадений».

Как можно видеть, закон массы выполняется только для области средних частот. В областях 1 и 3 звукоизолирующие свойства ограждения снижаются относительно закона массы. Физическая природа этих снижений различна.

Снижение звукоизоляции в области 1 связывают с резонансными явлениями совпадения собственных частот колебания конструкции с частотой падающего звука. Жестко или шарнирно закрепленная по контуру конструкция имеет, как

колебательная система, набор собственных частот колебаний. При совпадении частоты падающей на конструкцию звуковой волны с одной из ее собственных частот последняя входит в резонанс и начинает сильно раскачиваться. Это приводит к большему переизлучению звуковой энергии и, как следствие, к снижению звукоизоляции.

Собственные частоты колебаний конструкции во многом определяются ее размерами. Большинство ограждающих элементов в помещениях крупноразмерны и резонансные частоты для них попадают в низкочастотный диапазон, близко к нижней частотной границе слышимости ($f_{кр} < 100$ Гц). Так что за счет резонансных эффектов указанного типа звукоизоляция может ухудшиться лишь вблизи порога слышимости, где чувствительность уха человека к шумам низка.

Область 3 на частотной характеристике звукоизоляции, как правило, лежит в области слышимого диапазона, вследствие чего ее влияние на общую звукоизоляцию ограждающей конструкции носит более значимый характер. Данную область принято называть областью «волновых совпадений». За наличие этой области пониженной звукоизоляции также ответственен резонанс, только несколько иного типа, так называемый «геометрический резонанс».

При наклонном падении звуковой волны на преграду возможно возбуждение изгибных колебаний (волн), так как звуковое давление в различных точках поверхности плиты будет неодинаковым.

Изгибные волны характеризуются некоторой частотой f и длиной волны $\lambda_{изг}$.

Для определенного угла падения θ звука на преграду может выполняться соотношение $\lambda = \lambda_{изг} \cdot \sin \theta$, т.е. проекция длины изгибной волны (на направление падающей звуковой волны) совпадает с длиной падающей звуковой волны λ (рис. 2.4).

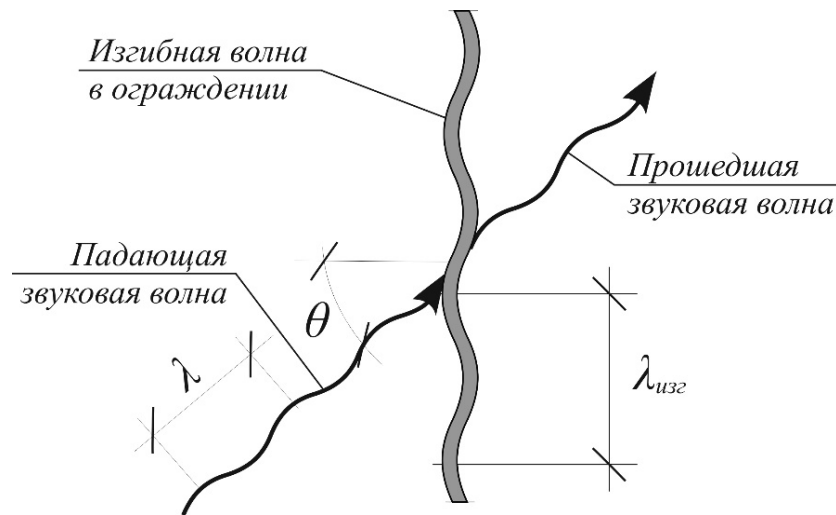


Рис. 2.4. Эффект волнового совпадения

При этом интенсивность изгибных колебаний резко увеличивается за счет геометрического резонанса и, следовательно, резко возрастает прохождение звука через ограждение в изолируемое помещение. Теоретически имеет место полное прохождение звука через ограждение.

Наименьшая частота звука, для которой возможен этот эффект, отвечает скользящему падению звука на преграду ($\theta = 90^\circ$). Ее принято называть критической частотой $f_{кр}$, и она может быть вычислена по формуле:

$$f_{кр} = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{D}}, \quad (2.14)$$

$$\text{где } D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}, \quad (2.15)$$

где h – толщина пластины; E – модуль Юнга; μ – коэффициент Пуассона материала пластины; D – цилиндрическая жесткость пластины.

В диффузном звуковом поле или при широкополосном звуке всегда найдутся такие углы, для которых выполнится условие совпадения $\lambda/\sin\theta = \lambda_{изг}$. Поскольку таких углов много, то уменьшение звукоизоляции начинается уже с частоты $f > 0.5f_{кр}$.

На частотах $f > 2f_{кр}$ существенное значение начинает играть жесткость ограждения и внутренние потери. На этих частотах звукоизоляция вновь начинает увеличиваться примерно на 7,5 дБ при удвоении частоты.

Волновое совпадение резко увеличивают изгибные колебания в ограждении. Однослойные перегородки, имеющие вес от 30 до 100 кг/м² наиболее подвержены явлению волнового совпадения колебаний. Для таких перегородок значения критических частот находятся в пределах от 300 до 800 Гц, т.е. в диапазоне звуковых частот, хорошо воспринимаемых слухом.

Одним из приемов увеличения звукоизоляции однослойной ограждающей конструкции является расширение области действия закона массы путем сдвига резонансных частот области 1 как можно дальше вниз (к частотной границе слышимости), а критической частоты области 3 – либо вверх (в высокочастотную область), либо, наоборот, вниз (ближе к резонансным частотам).

Меняя цилиндрическую жесткость ограждения, можно изменять величину критической частоты, а следовательно и эффективность звукоизоляции в том или ином диапазоне. Так, уменьшение жесткости смещает область пониженной звукоизоляции в высокочастотную часть спектра. Это наиболее целесообразно для тонких панелей (при $f_{кр} > 1$ кГц). В частности, к этому ведет создание на панели несквозных пропилов в 2-х взаимно перпендикулярных направлениях через определенные промежутки.

Для толстых панелей (при $f_{кр} < 300$ Гц) целесообразно, наоборот, понижать критическую частоту за счет увеличения их жесткости путем устройства, например, ребер жесткости. А для тонких перегородок усиление их ребрами жесткости может привести к ухудшению их звукоизолирующих способностей на низких и средних частотах.

2.3. Звукоизоляция многослойных конструкций

Для повышения звукоизолирующей способности стен, перегородок и перекрытий, не увеличивая их веса, целесообразно применять отдельные конструкции со сплошной воздушной прослойкой без жесткой связи между элементами ограждения.

Одинарная перегородка, изолируя воздушный звук, в то же время, является излучателем звука, вызываемого вибрацией ограждающих конструкций.

Двойная перегородка, в отличие от одинарной, изолирует как падающий на нее воздушный звук, так и звук, излучаемый

вследствие вибраций первой стенки. Воздух, подобно амортизатору, упруго воспринимающий колебания одной стенки, передает их второй стенке ослабленными.

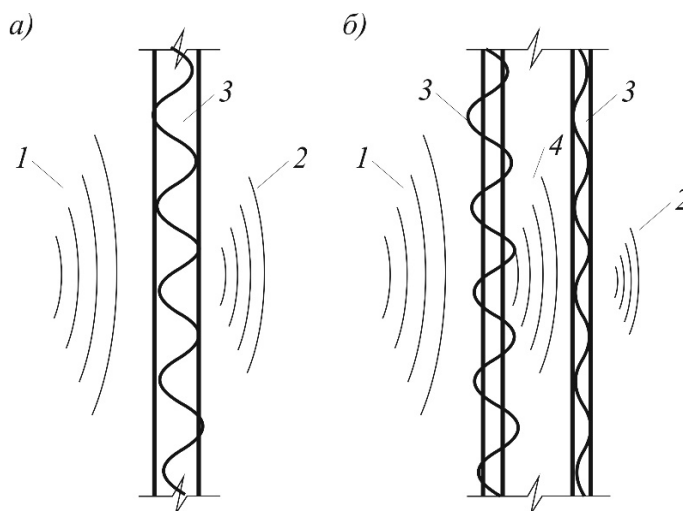


Рис. 2.5. Акустический эффект одинарной (а) и двойной (б) перегородок при совместном действии воздушного звука и звуковой вибрации:

- 1 – падающий на изолирующую конструкцию воздушный звук;
2 – звук, прошедший в изолируемое помещение; 3 – звуковая вибрация;
4 – воздушный звук, порождаемый звуковой вибрацией

Рассмотрим особенности звукоизоляции воздушного шума многослойными ограждениями на примере двойного ограждения, состоящего из двух перегородок толщиной h_1 и h_2 , разделенных воздушным промежутком толщиной d .

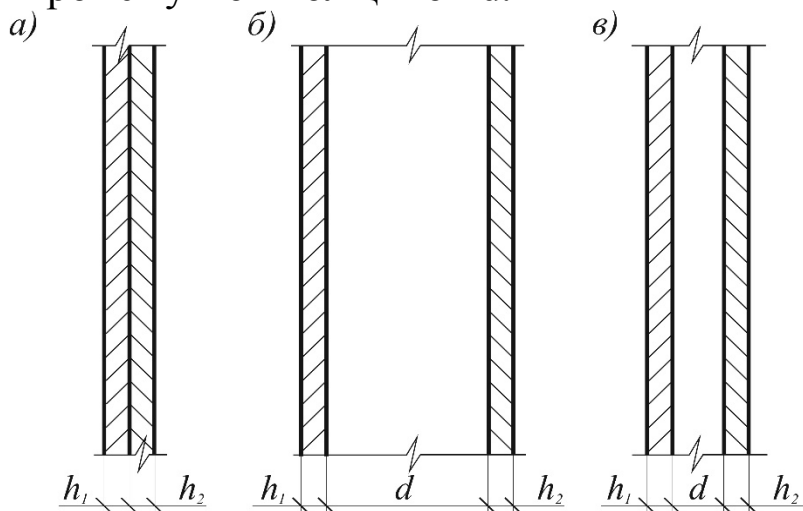


Рис. 2.6. Многослойная ограждающая конструкция: а – без воздушного промежутка; б – с воздушным промежутком большой толщины; в – с воздушным промежутком небольшой толщины

При отсутствии между перегородками воздушного промежутка ($d=0$, рис. 2.6а) и их жесткой связи между собой,

ограждение работает как однородная конструкция с эффективной поверхностной плотностью $m = m_1 + m_2$ ($m_1 = h_1 \cdot \gamma_1$, $m_2 = h_2 \cdot \gamma_2$, где γ_1 и γ_2 – объемные плотности материалов перегородок, кг/м³). Для одинаковых перегородок (при $h_1 = h_2$ и $\gamma_1 = \gamma_2$) поверхностная плотность удваивается, и по закону массы приращение звукоизоляции составит 6 дБ в сравнении с одной перегородкой. По сути это минимальное приращение для многослойной перегородки с отдельными слоями.

При значительном воздушном промежутке между перегородками ($d \gg h_1$ и h_2 , рис. 2.6б) последние можно рассматривать независимо друг от друга. Общая звукоизоляция такого двойного ограждения будет максимальной, равной сумме звукоизоляций каждой из них, т.е. $R = R_1 + R_2$.

В практике типичен промежуточный случай, когда перегородки разделены воздушным промежутком сравнительно небольшой ширины, соизмеримой с их толщинами ($d \cong h$, рис. 2.6в).

Звукоизоляция такой двойной раздельной конструкции будет промежуточной по величине между случаями а и б. Ее удобно представить в следующей форме: $R = R_0 + \Delta R$, где R_0 – звукоизоляция однородного ограждения с эффективной поверхностной массой $m = m_1 + m_2$ (случай непосредственного контакта), а ΔR – добавочная звукоизоляция.

Увеличение звукоизоляции в этом случае обусловлено многократным отражением и сопутствующим этому поглощению звука в зазоре на границе раздела двух сред с различными акустическими сопротивлениями. В этой связи, еще большей звукоизоляции возможно добиться при заполнении воздушного промежутка звукопоглощающим материалом полностью или частично. Это позволяет существенно увеличить звукоизоляцию в области средних и высоких частот.

В то же время здесь не получается максимально возможная звукоизоляция (как в варианте б рис. 2.6), так как при небольшом по ширине воздушном промежутке между плитами двойного ограждения их колебания уже нельзя рассматривать как независимые друг от друга. Конструкция как целое (вместе с воздушной прослойкой) имеет свой набор собственных

резонансных частот колебаний, и это отражается на величине дополнительной звукоизоляции ΔR .

На этих частотах наблюдается ряд резонансов и прежде всего резонанс перегородки в целом. Двойное ограждение представляет собой колебательную систему из двух протяженных плит с массами единичной площадки m_1 и m_2 и упругой связкой между ними. Частота собственных колебаний этой системы будет:

$$f_0 = 0,16 \sqrt{\frac{k}{m_1} + \frac{k}{m_2}} \quad (2.16)$$

где k – приведенный коэффициент жесткости упругого слоя, т.е. давление, необходимое для сжатия-растяжения слоя на единицу длины, зависящий от динамического модуля упругости материала слоя E ($k = E/h$).

Для практических расчетов двойной перегородки с воздушным промежутком:

$$f_0 = 0,16 \sqrt{\frac{C(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}}, \quad (2.17)$$

где $C = \rho c^2/h$ – упругость воздушного слоя.

С учетом численных значений плотности воздуха и скорости звука в нем, получим:

$$f_0 = 60 \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)}{m_1 m_2 h}}, \quad (2.18)$$

Частотная характеристика изоляции воздушного шума многослойной перегородки носит еще более сложный характер по сравнению с однослойной (рис. 2.3) в связи с наличием резонансных явлений помимо отдельных слоев и всей перегородки в целом, что определяется соотношениями упругостей отдельных перегородок, типом их взаимного закрепления, толщины прослойки и ее заполнения.

Для ряда частных случаев многослойных ограждающих конструкций построение частотных характеристик будет рассмотрено в разделе 3.

2.4. Звукоизоляция неоднородных ограждений

Если ограждающая конструкция состоит из участков с различной звукоизоляцией, например, имеет двери или окна, то изоляцию воздушного шума ограждающей конструкции в целом определяют по формуле:

$$R = 10 \lg \frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{0.1 R_i}}}, \quad (2.19)$$

где S_i – площадь i -й части, м^2 ; R_i – изоляция воздушного шума i -й части, дБ.

Потеря звукоизоляции за счет отверстий существеннее для высокочастотных шумов, длины волн которых сравнимы с размерами отверстий.

Анализ формулы (2.19) на примере ограждающей конструкции, состоящей из двух участков площадью 10 и 2 м^2 показывает, что при наличии в ограждении акустически слабого элемента определенной площади нет особого смысла стремиться к повышению звукоизоляции основного ограждения (за счет, например, увеличения его толщины), а лучше принять меры к повышению звукоизолирующей способности этого слабого элемента (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Площадь S_1 , м^2	10	10	10	10	10	10
Площадь S_2 , м^2	2	2	2	2	2	2
Звукоизоляция R_1 , дБ	40	50	60	40	50	60
Звукоизоляция R_2 , дБ	25	25	25	40	40	40
Суммарная звукоизоляция R , дБ	32,1	32,7	32,8	40,0	46,0	47,6
Приращение звукоизоляции, %	0,0	1,8	2,0	0,0	15,1	18,9

Если ограждающая конструкция имеет открытый проем (створка окна, окно целиком или форточка, вентиляционные

отверстия без глушителей шума), изоляция воздушного шума этой конструкцией определяется по формуле:

$$R = R_1 - 10 \lg \frac{S_1 + S_0 10^{0,1 R_1}}{\sum S_i}, \quad (2.20)$$

где S_0 – площадь открытого проема, м^2 .

Изоляцию воздушного шума ограждением со щелью или отверстием определяют по формуле:

$$R = R_1 - 10 \lg \left\{ 1 + [S_{щ.o} / (S_1 + S_{щ.o})] [10^{0,1(R_1 - R_{щ.o})} - 1] \right\}, \quad (2.21)$$

где R_1 и $R_{щ.o}$ – изоляция воздушного шума соответственно глухой частью ограждения и щелью (отверстием); S_1 и $S_{щ.o}$ – площади, соответственно, ограждения и щели (отверстия), м^2 .

При частотах $f \leq \frac{c_\theta}{6(l + 2\Delta l_{щ.o})}$:

$$R_{щ} = 10 \lg \left\{ m^2 (\gamma + \varepsilon_{щ})^2 + 1 \right\} \alpha / 2, \quad (2.22)$$

$$R_0 = 10 \lg \left[(n/4)^2 \left(\eta + \frac{\pi}{2} \right)^2 + \beta^2 \right], \quad (2.23)$$

где $\alpha = \pi b f / c_\theta$; b – ширина щели, м; $m=1$ для щели в середине ограждения; $m=0,5$ для щели по краю ограждения; $\gamma = l/b$; l – глубина щели или отверстия, м; $2\Delta l_{щ.o}$ – концевая поправка, учитывающая присоединенный объем воздуха у обеих сторон щели или отверстия, связанный при колебаниях с воздухом, соответственно, щели или отверстия, $2\Delta l_{щ} = 0,386 b [4 \lg(4/\alpha) + 1]$; $2\Delta l_0 = \pi r / 2$; $\varepsilon_{щ} = 2\Delta l_{щ} / b$; $n=2$ – для отверстия в середине ограждения; $n=1$ – для отверстия у края ограждения; $n=0,5$ – для отверстия в углу; $\eta = l/r$; $\beta = \pi r f / c_\theta$; r – радиус отверстия, м.

При частотах $f > \frac{c_\theta}{6(l + 2\Delta l_{щ.o})}$ усредненные в полосах частот значения звукоизоляции щелями или отверстиями:

$$R_{щ} = 10 \lg \left\{ \left[1/\alpha_1 + (\alpha/m)^2 (1 + \alpha_1) \right] m^2 / (4\alpha\alpha_1) \right\} \quad (2.24)$$

$$R_0 = 10 \lg \left\{ \left[1/\alpha_2 + (4\beta^2/n)^2 (1 + \alpha_2) \right] n^2 / (32\beta^2\alpha_2) \right\} \quad (2.25)$$

$$\text{где } \alpha_1 = 2 \cos^2(\alpha \varepsilon_{щ}); \alpha_2 = 2 \cos^2(\pi \beta / 2) \quad (2.26)$$

Формула (2.25) применима при $\gamma = l/b < 2$. Для случая $\gamma = l/b > 2$ значения звукоизоляции щелью $R_{щ}$ при расположении щели в средней части ограждения приведены на рис. 2.7. Если щель расположена у края ограждения, значения $R_{щ}$, дБ, следует принимать на 6 дБ меньше $R_{щ}$.

Щели и отверстия оказывают тем большее влияние на звукоизоляцию ограждением, чем выше его собственная звукоизоляция R_1 . Если ширина щели или диаметр отверстия больше длины падающей на них звуковой волны (b или $2r > c_g/f$), то $R_{щ} \approx 0$.

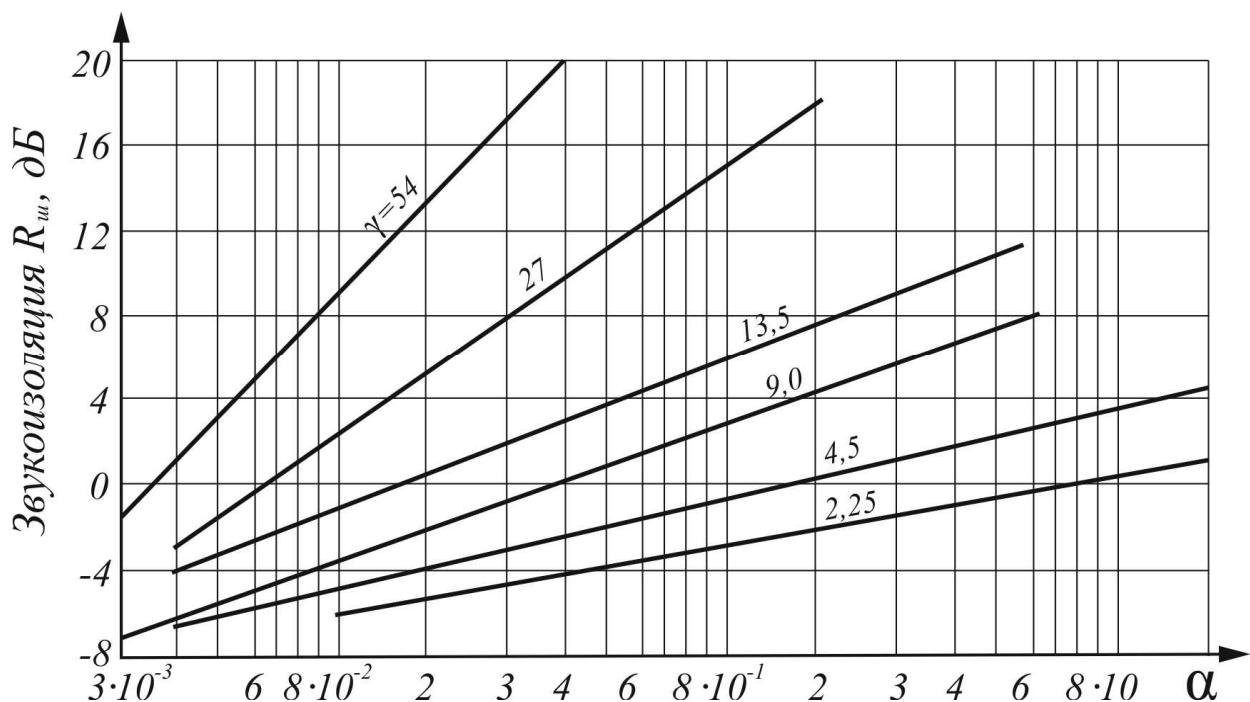


Рис. 2.7. Значения звукоизоляции для щелей, расположенных в средней части ограждения γ

Глава 3. НОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

В проектной и строительной практике важно правильно оценивать звукоизоляционные качества ограждающих конструкций. В силу различий в возникновении и распространении воздушного и ударного шумов в зданиях характеристики звукоизоляции ограждающих конструкций для воздушного и ударного шумов различаются.

3.1. Изоляция воздушного шума

В проектной практике под звукоизоляцией воздушного шума подразумевается обеспечиваемое разделяющим два помещения ограждением снижение уровней звукового давления R , дБ, приведенное к условиям равенства площади ограждающей конструкции и эквивалентной площади звукопоглощения в защищаемом помещении:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \left(\frac{S}{A} \right), \quad (3.1)$$

где L_1 – уровень звукового давления в помещении с источником звука, дБ; L_2 – уровень звукового давления в изолируемом помещении, дБ; S – площадь ограждающей конструкции, м; A – эквивалентная площадь звукопоглощения изолируемого помещения, м².

Звукоизоляция ограждающих конструкций (стен, перегородок, перекрытий) от воздушного шума определяется следующими основными характеристиками:

- частотная характеристика изоляции воздушного шума ограждением $R(f)$, дБ;

- индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ.

Для внешних ограждающих конструкций (главным образом светопрозрачных) вводится дополнительная характеристика звукоизоляции:

- звукоизоляция транспортного шума $R_{\text{Атран}}$, дБА.

Частотная характеристика $R(f)$, дБ представляет собой зависимость звукоизоляции ограждающей конструкции от частоты. В соответствии с этим она дает полное представление о звукоизоляции ограждающих конструкций в определенном интервале частот. Частотная характеристика может быть представлена в графической или табличной форме.

Табличное представление частотной характеристики изоляции воздушного шума ограждающей конструкции

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Звукоизоляция, дБ	35	37	39	42	53	54	53	62

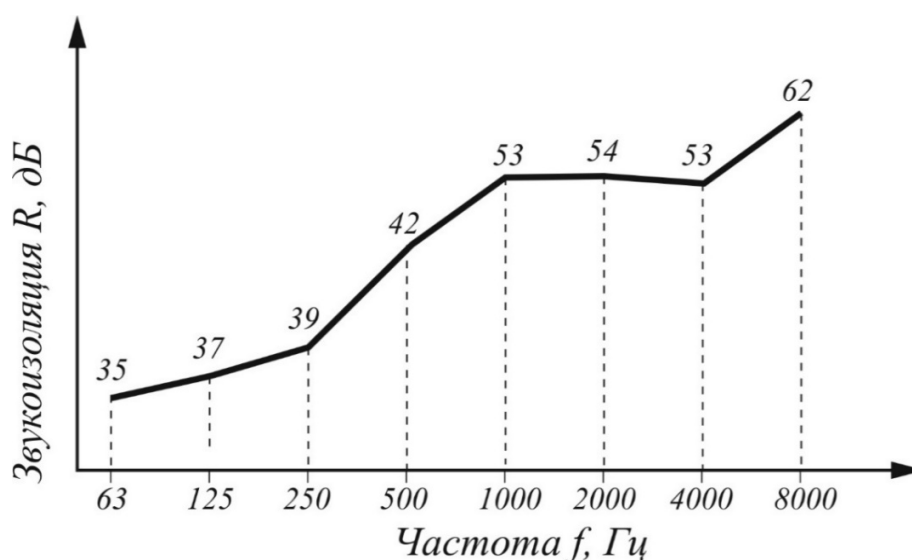


Рис. 3.1. Частотная характеристика изоляции воздушного шума ограждающей конструкции, представленная в графическом виде для октавных полос частот

Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ представляет собой определенным образом усредненную величину звукоизоляции для нормируемого диапазона частот (100÷3150 Гц).

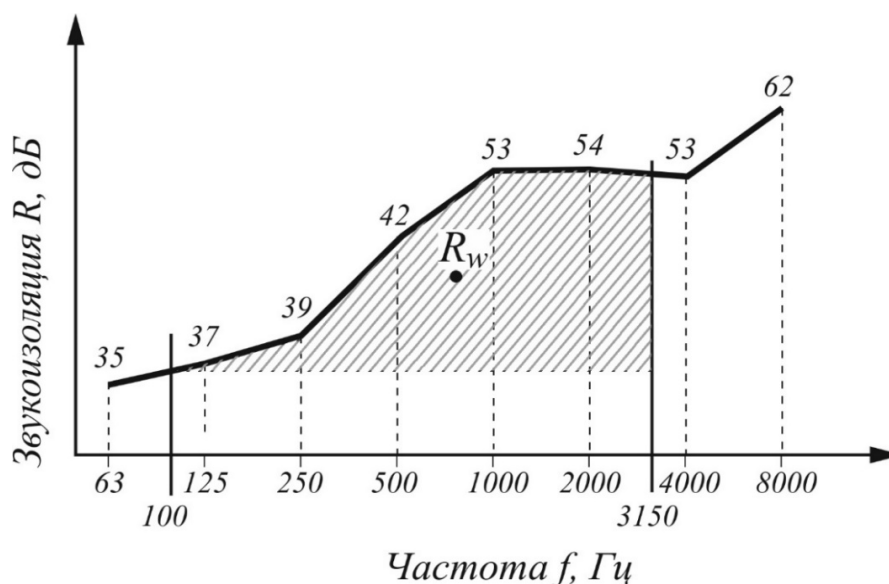


Рис. 3.2. К определению индекса изоляции воздушного шума через усреднение звукоизоляции в нормируемом диапазоне частот (100÷3150 Гц)

Нормируемый диапазон частот (100÷3150 Гц) учитывает наиболее распространенные шумы бытового происхождения, и соответственно, при наличии в помещении оборудования, создающего шум в других частотах (например, низкочастотные колонки домашних кинотеатров – сабвуферы воспроизводят звуки в диапазоне 20–160 Гц), оценка звукоизоляции ограждения только через индекс изоляции воздушного шума может носить определенную неточность. В этой связи для наиболее полной оценки звукоизоляции ограждающей конструкции необходимо уточнить спектр изолируемого шума и сопоставить его с частотной характеристикой изоляции шума ограждающей конструкции в соответствующем диапазоне частот.

Звукоизоляция транспортного шума $R_{\text{Атран}}$, дБ представляет собой определенным образом усредненную величину звукоизоляции светопрозрачной конструкции при учете эталонного спектра транспортного шума.

При оценке звукоизоляции ограждающих конструкций следует учитывать, что величина R , дБ вне зависимости от вида характеристики звукоизоляции воздушного шума показывает число децибел, которое способна «задержать» конструкция при прохождении сквозь нее воздушного шума. В соответствии с этим,

чем больше характеристика R , дБ, тем большей звукоизоляцией воздушного шума обладает ограждающая конструкция.

В международной практике (EN ISO 717-1) для оценки изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями принято использовать так называемый **одночисловой параметр R_w (C ; C_{tr})**. По сути, этот параметр представляет собой индекс изоляции воздушного шума с поправками на шум различной частоты. Два поправочных коэффициента были введены для того, чтобы учитывать тип шума, от которого требуется защита: первый индекс C (розовый шум) относится к шуму, в котором преобладают высокие и средние частоты; второй C_{tr} (шум дорожного движения) к шуму с преобладанием низких и средних частот. В зависимости от типа шума звукоизоляция конструкции может оцениваться по индексу $(R_w + C)$ или $(R_w + C_{tr})$.

Тип источника шума	Соответствующий поправочный коэффициент
Бытовой шум (разговор, музыка, радио, телевидение) Играющие дети Железнодорожный транспорт Магистральный дорожный транспорт, движущийся на скорости более 80 км/ч Реактивный самолет на короткие расстояния Предприятия, излучающие в основном средне- и высокочастотный шум	C
Городской автодорожный транспорт Винтовой самолет Реактивный самолет на дальние расстояния Дисотека Предприятия, излучающие в основном низко- и среднечастотный шум	C_{tr}

3.2. Изоляция ударного шума

Для оценки изоляции ударного шума перекрытиями применяется другой подход: оценивается не количество звука, задержанного ограждением, а уровень шума со стороны изолируемого помещения под перекрытием – L , дБ. В соответствии с этим, чем меньше характеристика L , дБ, тем большей звукоизоляцией ударного шума обладает ограждающая конструкция. Для возможности учета уровня шума под перекрытием вне зависимости от вида отделки изолируемого помещения, величина L приводится к стандартной величине площади звукопоглощения.

В этой связи основной характеристикой изоляции ударного шума перекрытиями является:

– приведенный уровень ударного шума под перекрытием L_n , дБ

$$L_n = L_i + 10 \lg \left(\frac{A}{A_0} \right), \quad (3.2)$$

где A – эквивалентная площадь звукопоглощения изолируемого помещения, м^2 ; $A_0 = 10 \text{ м}^2$.

Конструкция перекрытия с точки зрения звукоизоляции ударного шума характеризуется следующими параметрами:

– частотная характеристика приведенного уровня ударного шума под перекрытием $L(f)$, дБ;

– индекс приведенного уровня ударного шума; L_{nw} , дБ.

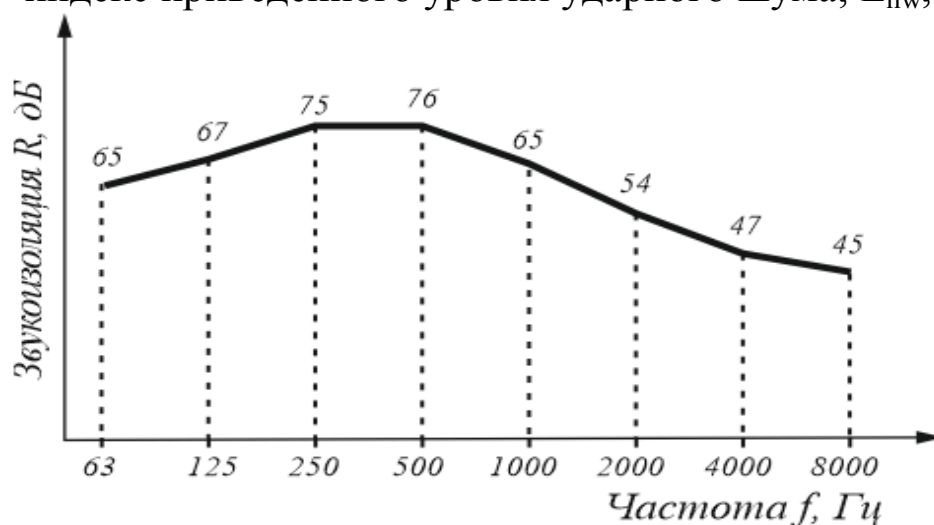


Рис. 3.3. Частотная характеристика приведенного уровня ударного шума, представленная в графическом виде для октавных полос частот

Частотная характеристика приведенного уровня ударного шума $L(f)$, дБ представляет собой зависимость приведенных уровней ударного шума под перекрытием $L_{п}$, дБ, в каждой из третьоктавных полос со среднегеометрическими частотами f , Гц, в диапазоне от 100 до 3150 Гц, или в каждой из октавных полос со среднегеометрическими частотами от 125 до 4000 Гц. Частотная характеристика может быть представлена в графической или табличной форме.

Табличное представление частотной характеристики приведенного уровня ударного шума перекрытием

Частота, Гц	125	250	500	1000	2000	4000
Звукоизоляция, дБ	67	75	76	65	54	47

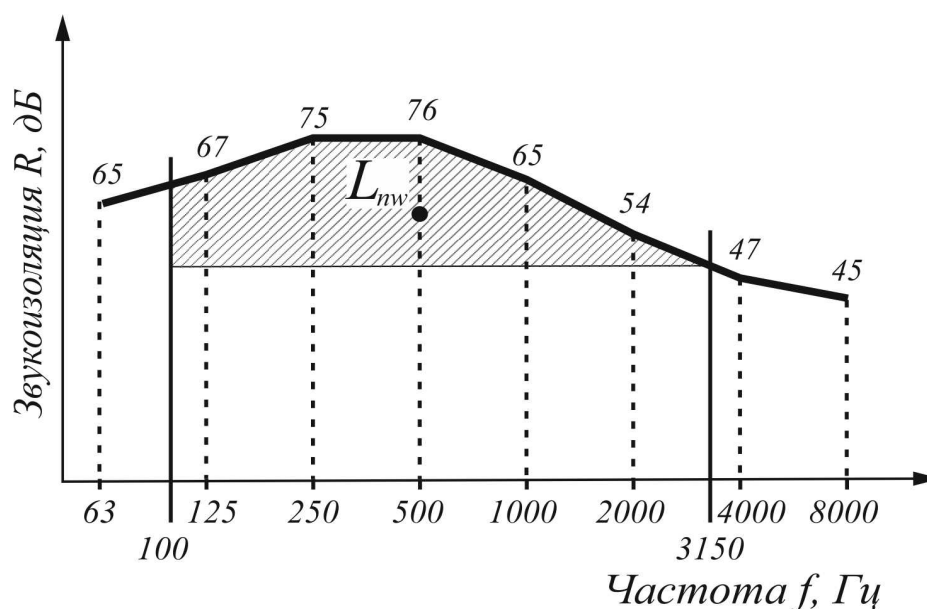


Рис. 3.4. Принцип определения индекса приведенного уровня ударного шума

Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} , дБ представляет собой определенным образом усредненную величину приведенных уровней ударного шума под перекрытием для нормируемого диапазона частот (100÷3150 Гц).

3.3. Нормирование звукоизоляции ограждающих конструкций

Нормируемыми параметрами звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий являются индексы изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями R_w , дБ (для стен и перекрытий), и индексы приведенного уровня ударного шума (изоляция ударного шума) $L_{пw}$, дБ (для перекрытий).

Требуемая звукоизоляция наружных ограждающих конструкций (прежде всего окон, витрин и других видов остекления, как наиболее «слабых» элементов звукоизоляции внешних ограждающих конструкций) от транспортного шума определяется величиной $R_{Атран}$, дБА, представляющая собой изоляцию внешнего шума, производимого потоком городского транспорта.

Нормативные значения индексов изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями и индексов приведенного уровня ударного шума для жилых, общественных зданий, приведены в СП 51.13330.2011 «Защита от шума» (выборка приведена в табл. 3.1, полная таблица представлена в приложении А).

Таблица 3.1

Нормируемая звукоизоляция ограждающих конструкций

Наименование и расположение ограждающей конструкции	R_w , дБ	$L_{пw}$, дБ
Жилые здания		
1. Перекрытия между помещениями квартир и перекрытия, отделяющие помещения квартир от холлов, лестничных клеток и используемых чердачных помещений	52	60
2. Перекрытия между помещениями квартир и расположенными под ними магазинами	55	60
3. Перекрытия между комнатами в квартире в двух уровнях	45	63
4. Перекрытия между жилыми помещениями общежитий	50	60
5. Перекрытия между помещениями квартиры и расположенными под ними ресторанами, кафе, спортивными залами	57	63
6. Перекрытия между помещениями квартиры и расположенными под ними административными помещениями, офисами	52	63

Наименование и расположение ограждающей конструкции	R_w , дБ	$L_{пw}$, дБ
7. Стены и перегородки между квартирами, между помещениями квартир и офисами; между помещениями квартир и лестничными клетками, холлами, коридорами, вестибюлями	52	—
8. Стены между помещениями квартир и магазинами	55	

Стоит помнить, что фактическая или расчетная величина индекса звукоизоляции R_w должна быть больше, чем $R_{w(тр)}$, а $L_{пw}$ – меньше требуемой величины $L_{пw(тр)}$.

Таким образом, важно отметить, что основной нормативной характеристикой звукоизоляции ограждающих конструкций зданий являются соответствующие индексы (R_w и $L_{пw}$), т.е. усредненные значения звукоизоляции в нормируемом диапазоне частот для помещений жилых и общественных зданий с обычными прогнозируемыми источниками шума.

При наличии в здании или на территории застройки источников шума с индивидуальными характеристиками (инженерное оборудование, промышленное оборудование и пр.) или помещений, которые не укладываются в терминологию, представленную в нормативной таблице свода правил, требуемую звукоизоляцию необходимо определять индивидуально в каждом отдельном случае.

В соответствии с формулой 3.3 требуемую звукоизоляцию можно получить как в усредненном (эквивалентном) виде, подставляя значения L_w и $L_{доп}$ в единицах дБА, так и в виде требуемого спектра звукоизоляции при наличии данных о спектре источника шума и допустимом уровне звукового давления в октавных частотах.

$$R_{тр} = L_w - L_{доп} - 10 \lg B + 10 \lg S - 10 \lg k, \text{ дБ}, \quad (3.3)$$

где L_w – октавный уровень звукового давления в помещении с источником шума на расстоянии 2 м от разделяющего помещения ограждения дБ или октавный уровень звукового давления снаружи здания на расстоянии 2 м от ограждающей конструкции, дБ; $L_{доп}$ – допустимый октавный уровень звукового давления, дБ; S –

площадь ограждающей конструкции, м^2 ; V – акустическая постоянная изолируемого помещения, м^2 ; k – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении.

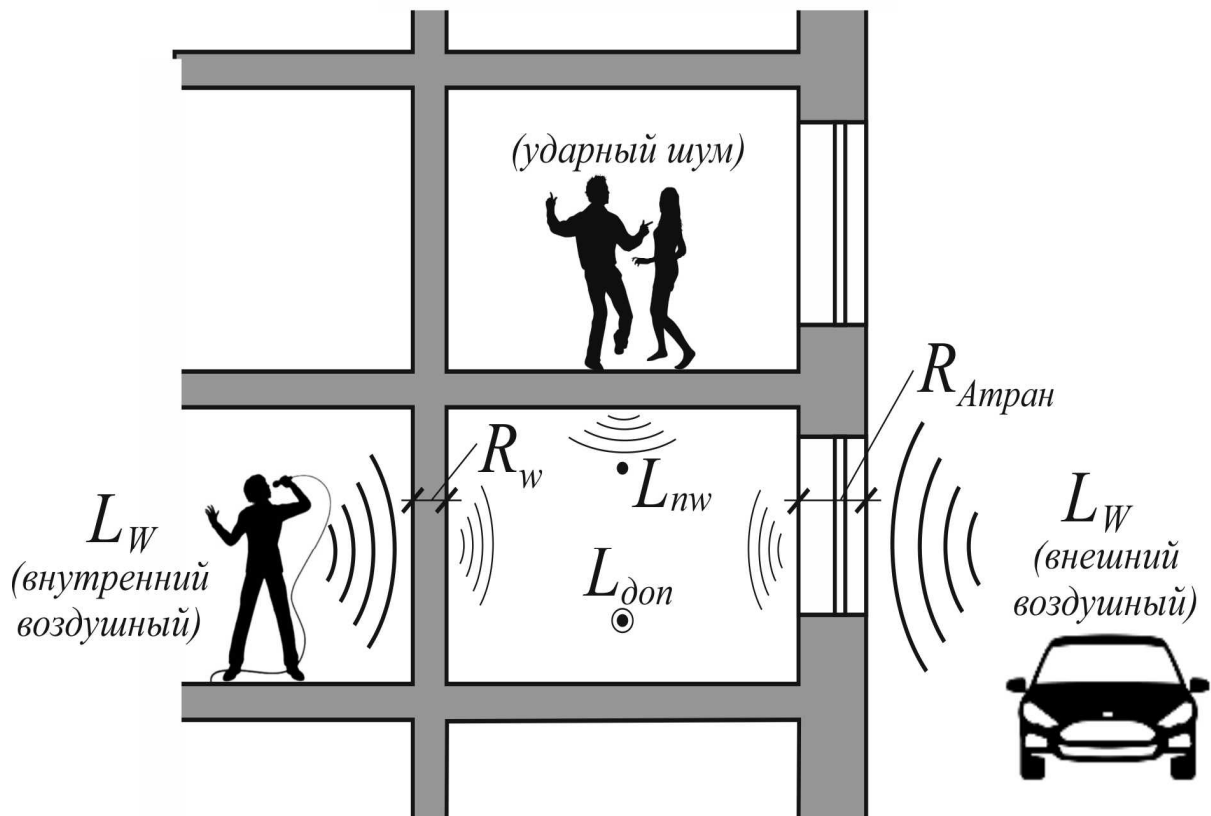


Рис. 3.5. Параметры звукоизоляции ограждающих конструкций

Глава 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Величина звукоизоляции ограждающей конструкции R и L_n определяется экспериментальным или расчетным путем, как правило, для третьоктавных полос в нормируемом диапазоне частот 100...3150 Гц. Экспериментальные исследования звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций зданий выполняются в соответствии с ГОСТ 27296-2012 «Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций».

Для проектировщика более значимым является умение оценивать звукоизоляцию ограждающих конструкций расчетными методами.

4.1. Определение характеристик изоляции воздушного шума

4.1.1. Построение частотной характеристики изоляции воздушного шума

4.1.1.1. Построение частотной характеристики изоляции воздушного шума массивными ограждающими конструкциями

Под массивными ограждающими конструкциями понимают конструкции сплошного сечения с поверхностной плотностью от 100 до 800 кг/м² (из бетона, железобетона, кирпича, керамзитобетона и подобных материалов). Частотную характеристику изоляции воздушного шума массивными ограждающими конструкциями согласно СП 275.1325800.2016 «Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции» следует определять, изображая ее в виде ломаной линии, аналогичной линии $ABCD$ на рис. 4.1.

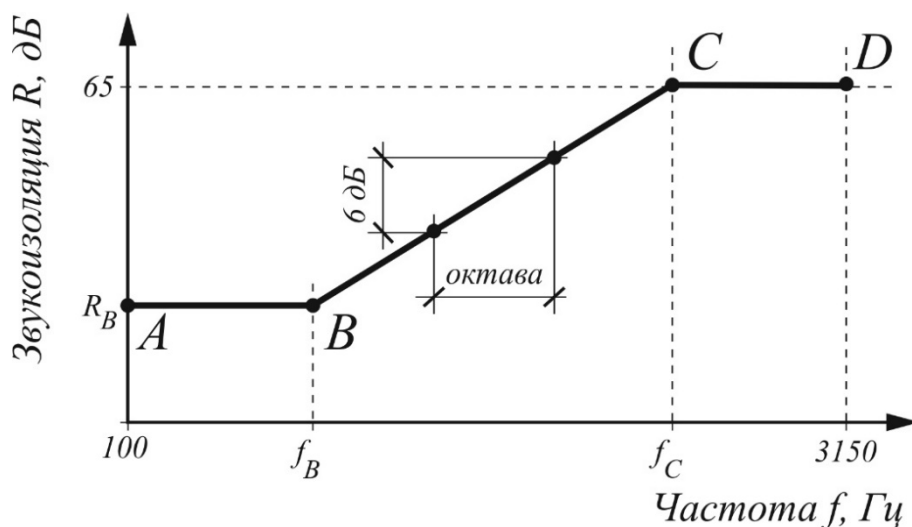


Рис. 4.1. Частотная характеристика изоляции воздушного шума массивным однослойным плоским ограждением

Построение выполняется в следующей последовательности:

1. По табл. 4.1 в зависимости от толщины и плотности материала конструкции определяется абсцисса точки $B - f_B$, Гц.

Таблица 4.1

Плотность материала γ , кг/м ³	f_B , Гц
1800	29000/ h
1600	31000/ h
1400	33000/ h
1200	35000/ h
1000	37000/ h
800	39000/ h
600	40000/ h
Примечания 1. h – толщина ограждения, мм. 2. Для промежуточных значений γ частота f_B определяется интерполяцией	

Значение f_B следует округлять до среднегеометрической частоты, в пределах которой находится f_B . Границы третьоктавных полос приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Третьоктавные полосы	Границы 1/3-октавной полосы	Третьоктавные полосы	Границы 1/3-октавной полосы
50	45–56	1000	891–1122
63	57–70	1250	1123–1414
80	71–88	1600	1415–1782
100	89–111	2000	1783–2244
125	112–140	2500	2245–2828
160	141–176	3150	2829–3563
200	177–222	4000	3564–4489
250	223–280	5000	4490–5657
315	281–353		
400	354–445		
500	446–561		
630	562–707		
800	708–890		

2. Определяется эквивалентная поверхностная плотность ограждения $m_э$ по формуле:

$$m_э = Km, \text{ кг/м}^2, \quad (4.1)$$

где m – поверхностная плотность, кг/м^2 (для ребристых конструкций принимается без учета ребер); K – коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью.

$$m = \gamma h, \text{ кг/м}^2, \quad (4.2)$$

где γ – объемная плотность материала ограждающей конструкции, кг/м^3 ; h – толщина ограждающей конструкции, м.

Для сплошных ограждающих конструкций плотностью $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$ и более $K = 1$.

Для сплошных ограждающих конструкций из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов; кладки из кирпича и

пустотелых керамических блоков коэффициент K определяется по табл. 4.3.

Для ограждений из бетона плотностью 1800 кг/м^3 и более с круглыми пустотами коэффициент K определяется по формуле:

$$K = 1,5 \cdot \sqrt[4]{\frac{j}{bh_{np}^3}}, \quad (4.3)$$

где j – момент инерции сечения, м^4 ; b – ширина сечения, м; h_{np} – приведенная толщина сечения, м.

Момент инерции ограждения с круглыми пустотами j определяется как разность момента инерции сечения без пустот ($j_{\text{без пустот}}$) и момента инерции суммы сечений пустот ($j_{\text{без пустот}}$).

$$j = \frac{bh^3}{12} - n \frac{\pi D^4}{64}, \quad (4.4)$$

где n – количество пустот, шт.; D – диаметр пустот, м; h – толщина сечения, м.

Приведенная толщина сечения h_{np} представляет собой толщину материального слоя сечения, из которого вычтена площадь пустот.

$$h_{np} = \left(bh - n \frac{\pi D^2}{4} \right) / b. \quad (4.5)$$

Для ограждающих конструкций из легких бетонов с круглыми пустотами коэффициент K принимается как произведение коэффициентов, определенных отдельно для сплошных конструкций из легких бетонов и конструкций с круглыми пустотами (плотность легких бетонов $\gamma < 1800 \text{ кг/м}^3$).

Таблица 4.3

Вид материала	Класс	Плотность γ , кг/м ³	K
Керамзитобетон	В 7,5	1500–1550	1,1
		1300–1450	1,2
		1200	1,3
		1100	1,4
	В 12,5 – В 15	1700–1750	1,1
		1500–1650	1,2
		1350–1450	1,3
		1250	1,4
Перлитобетон	В 7,5	1400–1450	1,2
		1300–1350	1,3
		1100–1200	1,4
		950–1000	1,5
Аглопоритобетон	В 7,5	1300	1,1
		1100–1200	1,2
		950–1000	1,3
	В 12,5	1500–1800	1,2
Шлакопемзобетон	В 7,5	1600–1700	1,2
	В 12,5	1700–1800	1,2
Газобетон, пенобетон, газосиликат	В 5,0	1000	1,5
		800	1,6
		600	1,7
Кладка из кирпича, пустотелых керамических блоков		1500–1600	1,1
		1200–1400	1,2
Гипсобетон, гипс (в том числе поризованный или с легкими заполнителями)	В 7,5	1300	1,3
		1200	1,4
		1000	1,5
		800	1,6

3. Определяется ордината точки B – R_B в зависимости от эквивалентной поверхностной плотности m_3 по формуле:

$$R_B = 20 \lg m_3 - 12, \text{ дБ.} \quad (4.6)$$

Значение R_B следует округлять до 0,5 дБ.

4. На график по рассчитанным абсциссе и ординате наносится точка B .

5. Для построения точки А из точки В влево проводится горизонтальный отрезок ВА до частоты 100 Гц. Если абсцисса точки В лежит ниже 100 Гц, отрезок ВА не строится.

6. Вправо от точки В проводится отрезок ВС с наклоном 6 дБ на октаву до точки С с ординатой $R_C = 65$ дБ,

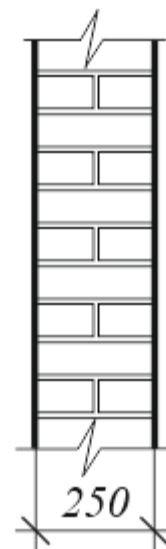
7. Из точки С вправо проводится горизонтальный отрезок CD. Если точка С лежит за пределами нормируемого диапазона частот ($f_C > 3150$ Гц), отрезок CD отсутствует.

Пример 1

Построить частотную характеристику изоляции воздушного шума стеной из керамического кирпича толщиной 250 мм и плотностью 1400 кг/м^3 .

1. Принимая по табл. 4.1 формулу для расчета, определяется абсцисса точки В:

$$f_B = \frac{33000}{h} = \frac{33000}{250} = 132 \text{ Гц}.$$



Полученное значение округляется по табл. 4.2 до ближайшей среднегеометрической частоты третьоктавной полосы:

$$f_B = 132 \text{ Гц} \approx 125 \text{ Гц}.$$

2. Определяется поверхностная плотность ограждающей конструкции:

$$m = \gamma h = 1400 \cdot 0,25 = 350 \text{ кг/м}^2.$$

По табл. 4.3 определяется коэффициент K (в силу того, что плотность ограждения $\gamma < 1800 \text{ кг/м}^3$), $K = 1,2$.

3. Определяется эквивалентная поверхностная плотность конструкции:

$$m_{\Sigma} = K m = 1,2 \cdot 350 = 420 \text{ кг/м}^2.$$

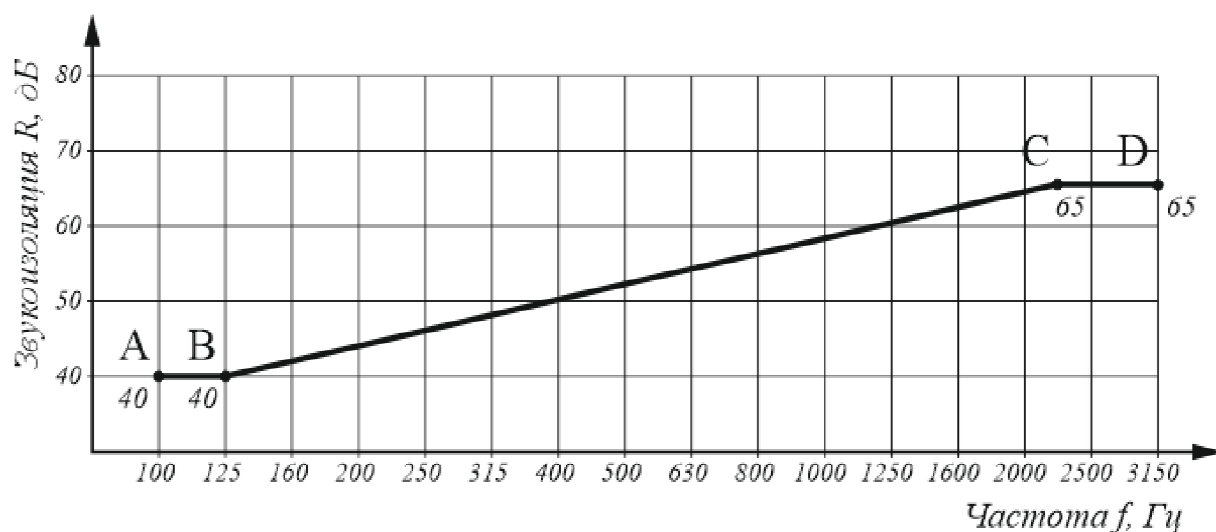
4. Определяется ордината точки В:

$$R_B = 20 \cdot \lg m_{\Sigma} - 12 = 20 \cdot \lg 420 - 12 = 40 \text{ дБ}.$$

5. Строится частотная характеристика по методике, описанной выше.

6. Построенная частотная характеристика изоляции воздушного шума представляется в табличной форме в нормируемом диапазоне частот.

f , Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R , дБ	40	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	65	65
	A	B												C		D



4.1.1.2. Построение частотных характеристик изоляции воздушного шума тонколистовыми ограждающими конструкциями

Частотную характеристику изоляции воздушного шума однослойной плоской тонкой ограждающей конструкцией из металла, стекла, асбоцементного листа, гипсокартонных листов и тому подобных материалов следует определять графическим способом, изображая ее в виде ломаной линии, аналогичной линии $ABCD$ на рис. 4.2.

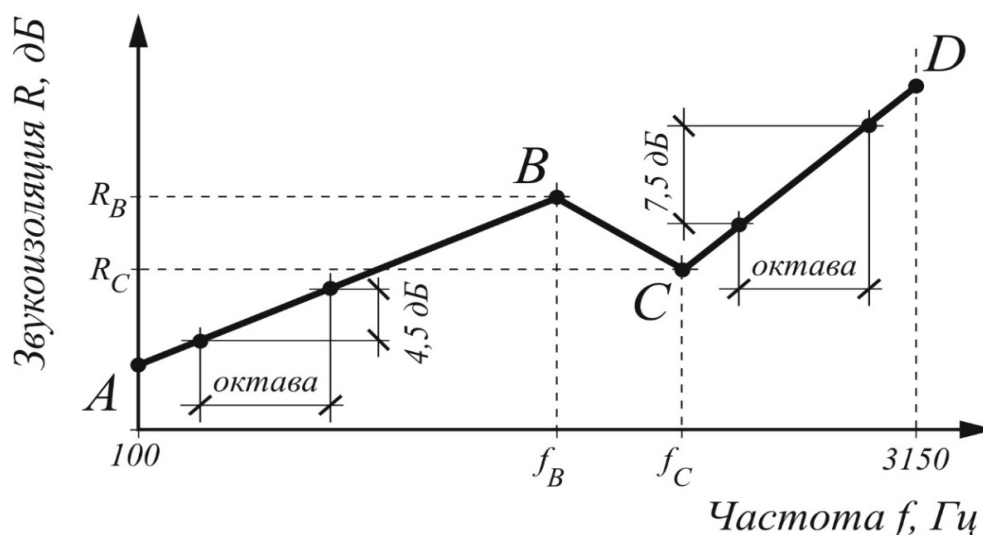


Рис. 4.2. Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским тонким ограждением

Построение выполняется в следующей последовательности.

1. По табл. 4.4 определяются координаты точек B и C , при этом значения f_B и f_C округляются до ближайшей среднегеометрической частоты третьоктавной полосы (табл. 4.2).

2. От точки B влево проводится отрезок AB с наклоном 4,5 дБ на октаву (рис. 4.2).

3. От точки C вправо проводится отрезок CD . Наклон участка CD следует принимать равным 7,5 дБ на октаву.

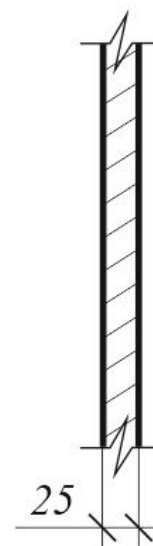
Таблица 4.4

Материалы	Плотность γ , кг/м ³	f_B , Гц	f_C , Гц	R_B , дБ	R_C , дБ
1. Сталь	7800	6000/н	12000/н	40	32
2. Алюминиевые сплавы	2500–2700	6000/н	12000/н	32	22
3. Стекло силикатное	2500	6000/н	12000/н	35	29
4. Стекло органическое	1200	17000/н	34000/н	37	30
5. Асбоцементные листы	2100	9000/н	18000/н	35	29
	1800	9000/н	18000/н	34	28
	1600	10000/н	20000/н	34	28
6. Гипсокартонные листы (сухая гипсовая штукатурка)	1100	19000/н	38000/н	36	30
	850	19000/н	38000/н	34	28
7. Древесно-стружечная плита (ДСП)	850	13000/н	26000/н	32	27
	650	13500/н	27000/н	30,5	26
8. Твердая древесноволокнистая плита (ДВП)	1100	19000/н	38000/н	35	29

Пример 2

Построить частотную характеристику изоляции воздушного шума перегородкой из гипсокартонного листа толщиной 25 мм и плотностью 1100 кг/м³.

1. Принимая формулу для расчета по табл. 4.4, определяется абсцисса точки В; полученное значение округляется до ближайшей среднегеометрической частоты третьоктавной полосы по табл. 4.2:



$$f_B = \frac{19000}{h} = \frac{19000}{25} = 760 \text{ Гц} \approx 800 \text{ Гц}.$$

2. Принимая формулу для расчета по табл. 4.4, определяется абсцисса точки С; полученное значение округляется до ближайшей среднегеометрической частоты третьоктавной полосы по табл. 4.2:

$$f_C = \frac{38000}{h} = \frac{38000}{25} = 1520 \text{ Гц} \approx 1600 \text{ Гц}.$$

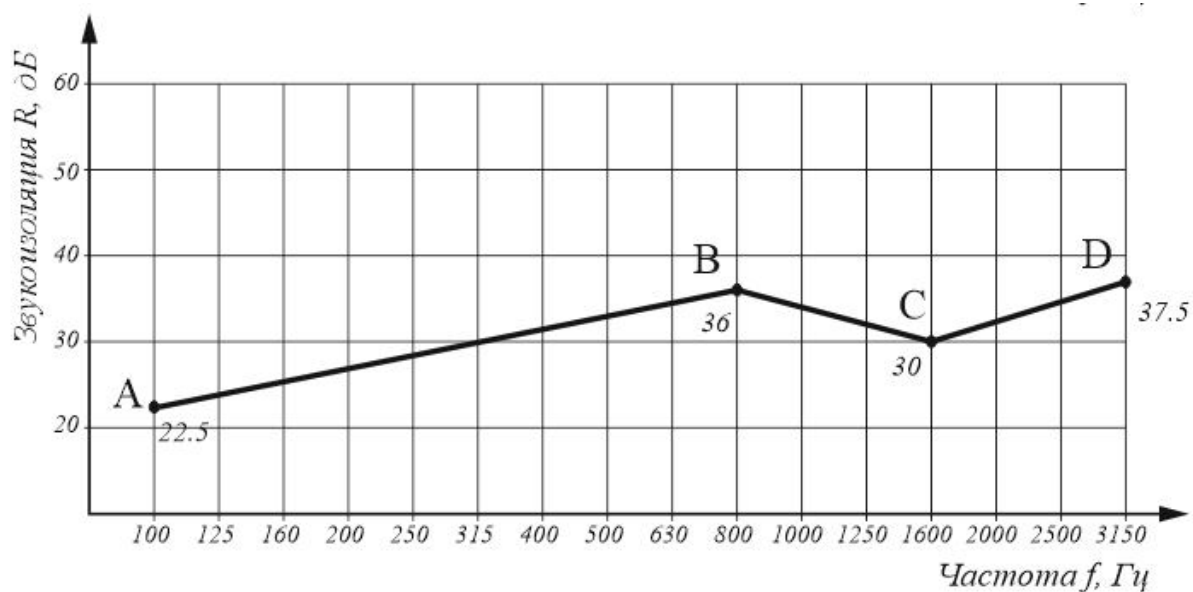
3. Значения ординат точек В и С определяются по табл. 4.4:

$$R_B = 36 \text{ дБ}, R_C = 30 \text{ дБ}.$$

4. В соответствии с методикой, описанной выше в п. 4.1.1.2 строится частотная характеристика изоляции воздушного шума.

5. Представляем построенную частотную характеристику изоляции воздушного шума в табличной форме в нормируемом диапазоне частот.

<i>f</i> , Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
<i>R</i> , дБ	22,5	24	25,5	27	28,5	30	31,5	33	34,5	36	34	32	30	32,5	35	37,5
	<i>A</i>									<i>B</i>			<i>C</i>			<i>D</i>



4.1.1.3. Построение частотных характеристик изоляции воздушного шума ограждением из двух плоских тонких листов одинаковой толщины с воздушным промежутком между ними

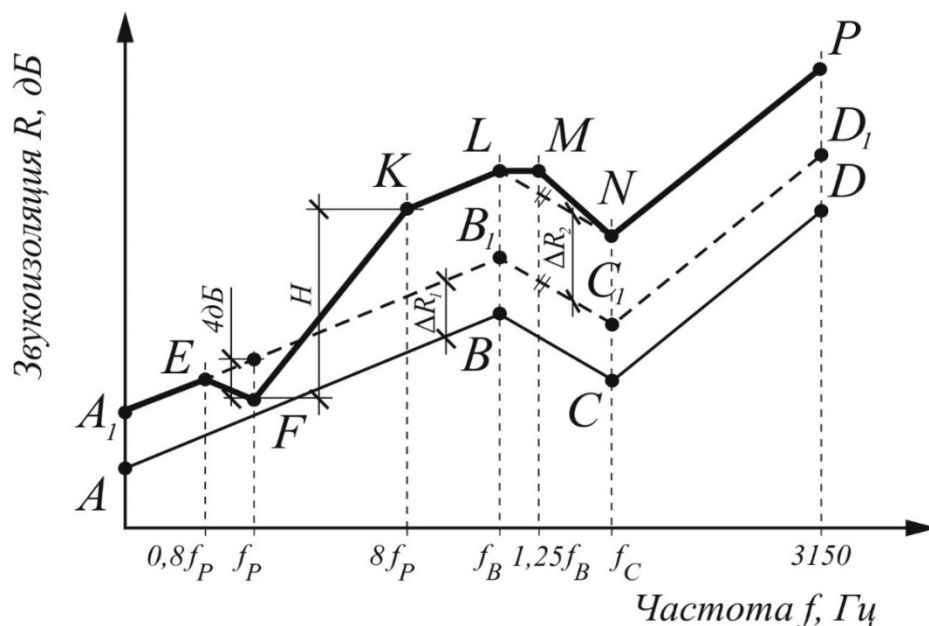


Рис. 4.3. Частотная характеристика изоляции воздушного шума ограждением из двух плоских тонких листов одинаковой толщины с воздушным промежутком между ними

Построение выполняется в следующей последовательности.

1. Строится частотная характеристика изоляции воздушного шума одной обшивкой по п. 4.1.1.2 – вспомогательная линия $ABCD$ на рис. 4.3.

2. Строится вспомогательная линия $A_1B_1C_1D_1$ путем прибавления к ординатам линии $ABCD$ поправки ΔR_1 на увеличение поверхностной плотности по табл. 4.5 (при одинаковой толщине плоских листов эта поправка составляет 4,5 дБ). Каркас при этом не учитывается.

Таблица 4.5

$m_{\text{общ}}/m_1$	ΔR_1 , дБ	$m_{\text{общ}}/m_1$	ΔR_1 , дБ
1,4	2,0	2,7	6,5
1,5	2,5	2,9	7,0
1,6	3,0	3,1	7,5
1,7	3,3	3,4	8,0
1,8	4,0	3,7	8,5
2,0	4,5	4,0	9,0
2,2	5,0	4,3	9,5
2,3	5,5	4,6	10,0
2,5	6,0	5,0	10,5

3. Определяется частота резонанса f_p конструкции, Гц по формуле:

$$f_p = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{dm_1 m_2}}, \quad (4.7)$$

где m_1 и m_2 – поверхностные плотности обшивок, кг/м²; d – толщина воздушного промежутка, м.

Значение частоты f_p округляется до ближайшей среднегеометрической частоты 1/3-октавной полосы.

4. До частоты $0,8f_p$ включительно частотная характеристика звукоизоляции конструкции совпадает со вспомогательной линией $A_1B_1C_1D_1$ (точка F , рис. 4.3). На частоте f_p звукоизоляция принимается на 4 дБ ниже линии $A_1B_1C_1D_1$ (точка F , рис. 4.3).

5. На частоте $8f_d$ (три октавы выше частоты резонанса) находится точка K с ординатой $R_K = R_F + H$, которая соединяется с точкой F . Значения величины H в зависимости от толщины воздушного промежутка приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Толщина воздушного промежутка d , мм	Величина H , дБ
15–25	22
50	24
100	26
150	27
200	28

6. От точки K проводится отрезок KL с наклоном 4,5 дБ на октаву до частоты f_B параллельно вспомогательной линии $A_1B_1C_1D_1$.

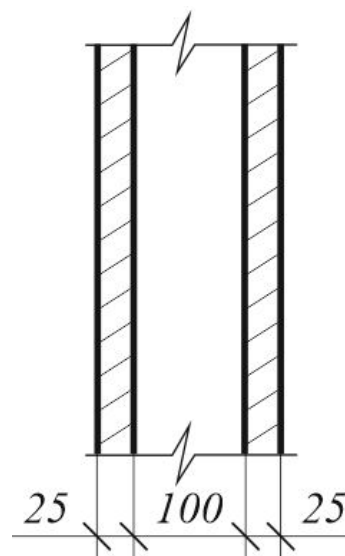
7. Превышение отрезка KL над вспомогательной кривой $A_1B_1C_1D_1$ представляет собой поправку на влияние воздушного промежутка ΔR_2 (в диапазоне частот выше $8f_d$). В том случае, когда $f_B = 8f_d$ точки K и L сливаются в одну точку. Если $f_B < 8f_d$, отрезок FK проводится только до точки L , соответствующей частоте f_B . Точка K в этом случае лежит вне расчетной частотной характеристики и является вспомогательной.

От точки L до частоты $1,25f_B$ (до следующей 1/3-октавной полосы) проводится горизонтальный отрезок LM . На частоте f_C находится точка N путем прибавления к значению вспомогательной линии $A_1B_1C_1D_1$ поправки ΔR_2 (а именно, $R_N = R_{C1} + \Delta R_2$) и соединяется с точкой M . Далее проводится отрезок NP с наклоном 7,5 дБ на октаву.

Ломаная линия $A_1EFKLMNP$ представляет собой частотную характеристику изоляции воздушного шума рассматриваемой конструкции.

Пример 3

Построить частотную характеристику изоляции воздушного шума перегородкой, выполненной из двух гипсокартонных листов толщиной 25 мм и плотностью 1100 кг/м^3 по металлическому каркасу с толщиной воздушного промежутка 100 мм.



1. Построение выполняется на основе частотной характеристики изоляции воздушного шума перегородкой из одного листа (пример п. 4.1.1.2).

2. Определяется общая поверхностная плотность ограждения:

$$m_{\text{общ}} = m_1 + m_2 = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 = 1100 \cdot 0,025 + 1100 \cdot 0,025 = 55 \text{ кг/м}^2.$$

3. По табл. 4.5 определяется поправка ΔR_1 .

Для отношения $m_{\text{общ}}/m_1 = 55/27,5 = 2$ $\Delta R_1 = 4,5 \text{ дБ}$.

Строится вспомогательная линия $A_1 B_1 C_1 D_1$ путем прибавления к ординатам линии $ABCD$ поправки ΔR_1 .

4. Определяется частота резонанса f_p конструкции:

$$f_p = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{dm_1 m_2}} = 60 \sqrt{\frac{27,5 + 27,5}{0,1 \cdot 27,5 \cdot 27,5}} = 51,5 \text{ Гц} \approx 50 \text{ Гц}.$$

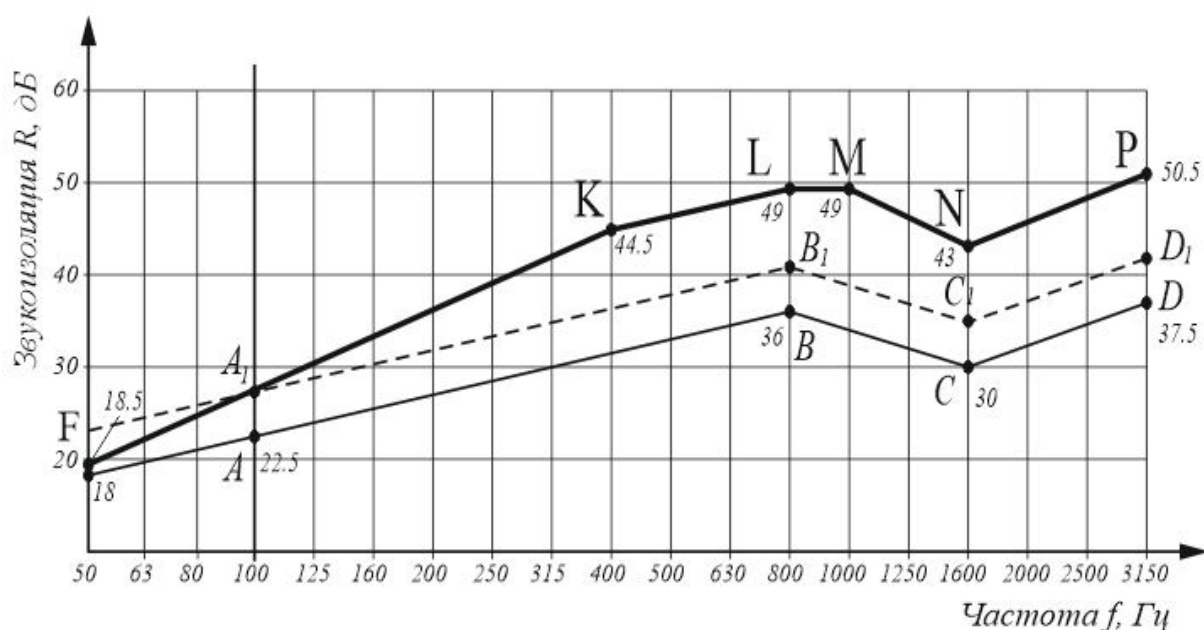
5. По методике, описанной выше в разделе, строится частотная характеристика изоляции воздушного шума:

– до частоты $0,8f_p = 0,8 \cdot 50 = 40 \text{ Гц}$ частотная характеристика совпадает с кривой $A_1 B_1 C_1 D_1$;

– на частоте $f_p = 50 \text{ Гц}$ звукоизоляция принимается на 4 дБ ниже линии $A_1 B_1 C_1 D_1$ (отмечается точка F , $R_F = 18,5 \text{ дБ}$);

– на частоте $8f_p = 8 \cdot 50 = 400 \text{ Гц}$ находится точка K с ординатой $R_K = R_F + H = 18,5 + 26 = 44,5 \text{ дБ}$; величина H определяется по табл. 4.6 в зависимости от толщины воздушной прослойки (для 100 мм прослойки $H = 26 \text{ дБ}$);

- от точки K проводится отрезок KL с наклоном $4,5$ дБ на октаву до частоты $f_B = 800$ Гц, $R_L = 49$ дБ; находим превышение ординаты точки L над точкой B , $\Delta R_2 = R_L - R_B = 13$ дБ;
- от точки L до частоты $1,25f_B = 1,25 \cdot 800 = 1000$ Гц проводится горизонтальный отрезок LM ;
- на частоте f_C находится точка N путем прибавления к ординате точки C поправки ΔR_2 , $R_N = R_C + \Delta R_2 = 30 + 13 = 43$ дБ.
- далее проводится отрезок NP с наклоном $7,5$ дБ на октаву до частоты 3150 Гц.



6. Представляем построенную частотную характеристику изоляции воздушного шума в табличной форме в нормируемом диапазоне частот.

f , Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R , дБ	27,2	30,1	33	35,9	38,8	41,7	44,5	46	47,5	49	49	46	43	45,5	48	50,5
							K			L	M		N			P

4.1.1.4. Построение частотных характеристик изоляции воздушного шума ограждением из двух плоских тонких листов разной толщины с воздушным промежутком между ними

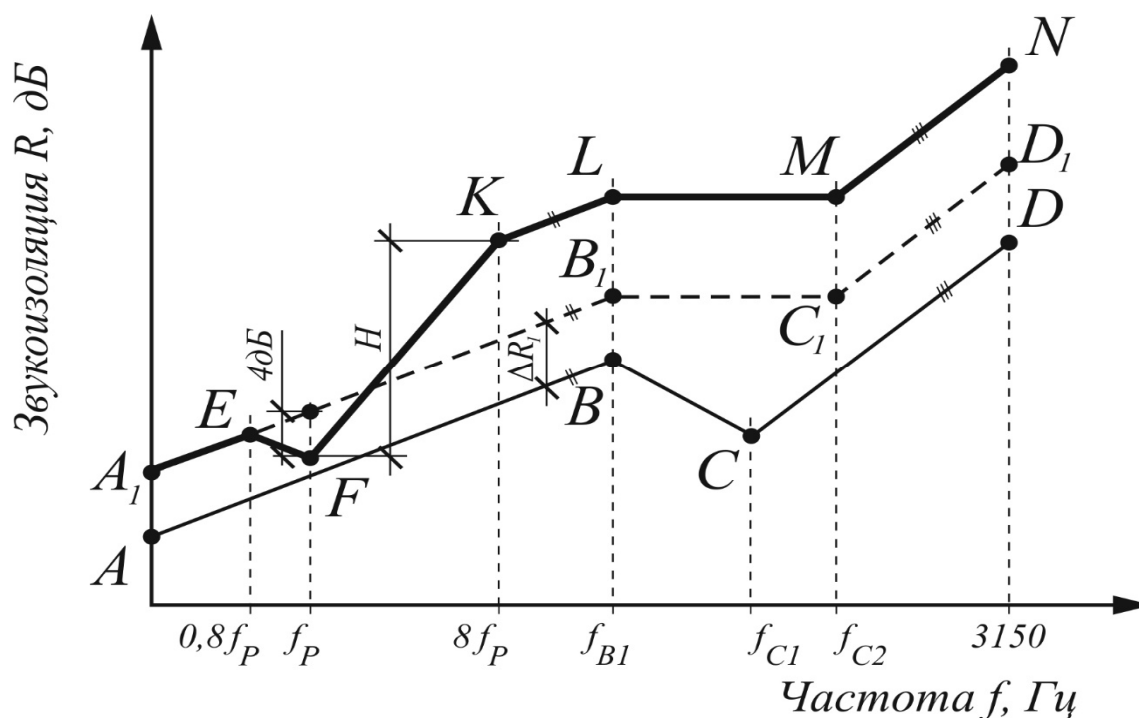


Рис. 4.4. Частотная характеристика изоляции воздушного шума ограждением из двух плоских тонких листов разной толщины с воздушным промежутком между ними

Построение выполняется в следующей последовательности.

1. Строится частотная характеристика изоляции воздушного шума одним листом (большей толщины) в соответствии с 4.1.1.2 – ломаная линия $ABCD$ (рис. 4.4).

2. Определяется частота f_{C2} для листа обшивки меньшей толщины.

3. Строится вспомогательная линия A_1B_1 до частоты f_{B1} путем прибавления к значениям звукоизоляции первого (более толстого листа) поправки ΔR_1 на увеличение поверхностной плотности ограждения по табл. 4.5.

4. Между частотами f_{B1} и f_{C2} проводится горизонтальный отрезок B_1C_1 и далее отрезок C_1D_1 с наклоном 7,5 дБ на октаву.

5. Определяется частота резонанса конструкции f_P по формуле (4.7).

6. До частоты $0,8f_p$ включительно частотная характеристика изоляции воздушного шума конструкцией совпадает со вспомогательной линией A_1B_1 . На частоте f_p звукоизоляция принимается на 4 дБ ниже вспомогательной линии A_1B_1 (точка F , рис. 4.4).

7. На частоте $8f_p$ находится точка K с ординатой $R_K = R_F + H$, где H – величина, определяемая по табл. 4.6 в зависимости от толщины воздушного промежутка.

8. От точки K частотная характеристика строится параллельно $A_1B_1C_1D_1$, т.е. проводится отрезок KL с наклоном 4,5 дБ на октаву до вспомогательной линии $A_1B_1C_1D_1$, т.е. проводится отрезок KL с наклоном 4,5 дБ на октаву до частоты f_{B1} , а затем горизонтальный отрезок LM до частоты f_{C2} и далее отрезок MN с наклоном 7,5 дБ на октаву.

Если частота $f_B < 8f_p$, отрезок FK проводится только до точки L , соответствующей частоте f_B . Точка L в этом случае лежит вне частотной характеристики и является вспомогательной.

Ломаная линия $A_1EFKLMN$ (рис. 4.4) представляет собой частотную характеристику изоляции воздушного шума рассматриваемой конструкции.

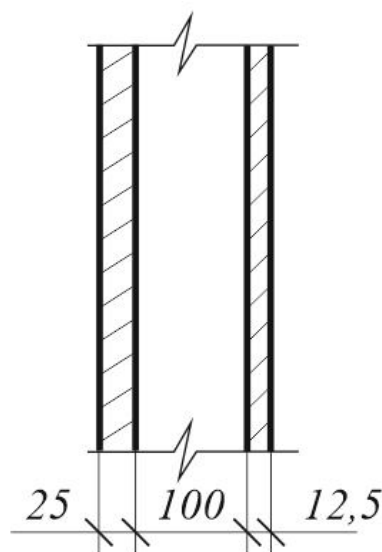
Пример 4

Построить частотную характеристику изоляции воздушного шума перегородкой, выполненной из двух гипсокартонных листов толщиной 25 и 12,5 мм и плотностью 1100 кг/м^3 по металлическому каркасу с толщиной воздушного промежутка 100 мм.

1. Построение выполняется на основе частотной характеристики изоляции воздушного шума перегородкой из одного листа большей толщины (пример п. 4.1.1.2).

2. Принимая формулу для расчета по табл. 4.4, определяется абсцисса точки C для листа меньшей толщины:

$$f_{C2} = \frac{38000}{h} = \frac{38000}{12,5} = 3040 \text{ Гц} \approx 3150 \text{ Гц}.$$



3. Определяется общая поверхностная плотность ограждения:

$$m_{\text{общ}} = m_1 + m_2 = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 = 1100 \cdot 0,025 + 1100 \cdot 0,0125 = 41,25 \text{ кг/м}^2.$$

4. По табл. 4.5 определяется поправка ΔR_1 . Для отношения $m_{\text{общ}}/m_1 = 41,25/27,5 = 1,5$; $\Delta R_1 = 2,5$ дБ.

Строится вспомогательная линия A_1B_1 до частоты f_{B_1} путем прибавления к ординатам линии $ABCD$ поправки ΔR_1 .

5. Между частотами f_{B_1} и f_{C_2} проводится горизонтальный отрезок B_1C_1 и далее отрезок C_1D_1 с наклоном 7,5 дБ на октаву.

6. Определяется частота резонанса f_p конструкции:

$$f_p = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{dm_1 m_2}} = 60 \sqrt{\frac{27,5 + 13,75}{0,1 \cdot 27,5 \cdot 13,75}} = 62,7 \text{ Гц} \approx 63 \text{ Гц}.$$

7. По методике, описанной выше в разделе, строится частотная характеристика изоляции воздушного шума:

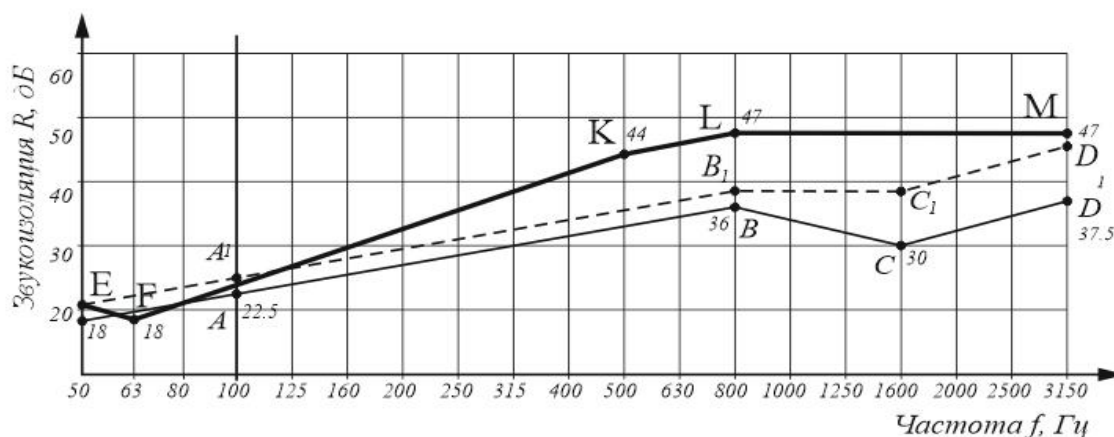
- до частоты $0,8f_p = 0,8 \cdot 63 = 50$ Гц (точка E) частотная характеристика совпадает с кривой A_1B_1 ;

- на частоте $f_p = 63$ Гц звукоизоляция принимается на 4 дБ ниже линии A_1B_1 (отмечается точка F, $R_F = 18$ дБ);

- на частоте $8f_p = 8 \cdot 63 \approx 500$ Гц находится точка K с ординатой $R_K = R_F + H = 18 + 26 = 44$ дБ; величина H определяется по табл. 4.6 в зависимости от толщины воздушной прослойки (для 100 мм прослойки $H = 26$ дБ);

- от точки K проводится отрезок KL с наклоном 4,5 дБ на октаву до частоты $f_B = 800$ Гц, $R_L = 47$ дБ;

- затем проводится горизонтальный отрезок LM до частоты f_{C_2} ; так как частота $f_{C_2} = 3150$ Гц является крайней частотой нормируемого диапазона, отрезок MN не строится.



8. Представляем построенную частотную характеристику изоляции воздушного шума в табличной форме в нормируемом диапазоне частот.

$f, \text{Гц}$	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$R, \text{дБ}$	23,8	26,7	29,6	32,5	35,4	38,3	41,2	44	45,5	47	47	47	47	47	47	47
								K		L						M

4.1.1.5. Построение частотных характеристик изоляции воздушного шума каркасно-обшивной перегородкой при заполнении воздушного промежутка пористым или пористо-волокнистым материалом

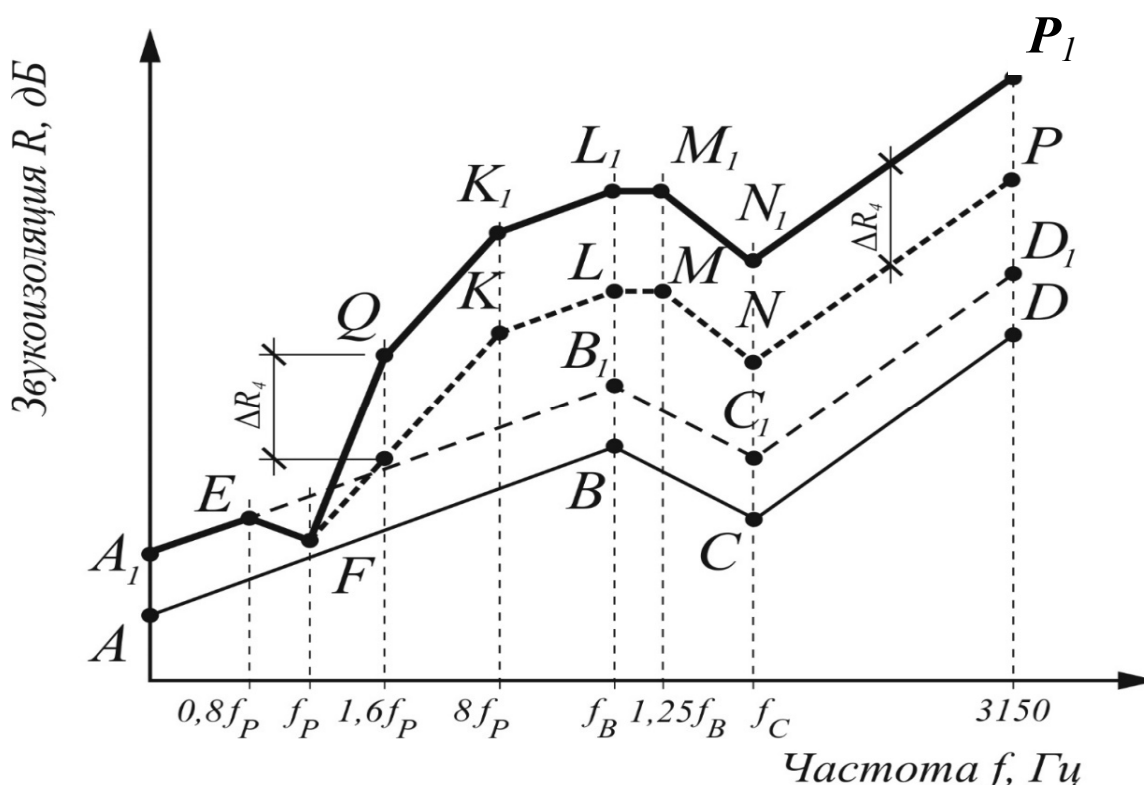


Рис. 4.5. Частотная характеристика изоляции воздушного шума ограждением из двух плоских тонких листов одинаковой толщины с воздушным промежутком между ними

Построение выполняется в следующей последовательности.

1. Строится частотная характеристика звукоизоляции с незаполненным воздушным промежутком в соответствии с 4.1.1.3.

Следует учесть, что в общую поверхностную плотность конструкции $m_{\text{общ}}$ при определении поправки ΔR_1 включается поверхностная плотность заполнения воздушного промежутка пористым или пористо-волоконистым материалом.

2. Частота резонанса конструкции f_p при заполнении воздушного промежутка полностью или частично минераловатными или стекловолоконистыми плитами определяется по формуле (4.7).

При заполнении промежутка пористым материалом с жестким скелетом (пенопласт, пенополистирол, фибролит и т.п.) частоту резонанса f_p , Гц, следует определять по формуле (4.8):

$$f_p = 0,16 \sqrt{\frac{E_d(m_1 + m_2)}{dm_1 m_2}}, \quad (4.8)$$

где m_1 и m_2 – поверхностные плотности обшивок, кг/м²; d – толщина воздушного промежутка, м; E_d – динамический модуль упругости материала заполнения, Па.

Если обшивки не приклеиваются к материалу заполнения воздушного промежутка, значения E_d принимаются с коэффициентом 0,75.

3. До частоты резонанса $f \leq f_p$ частотная характеристика звукоизоляции конструкции полностью совпадает с частотной характеристикой, построенной для перегородки с незаполненным воздушным промежутком.

4. На частоте $f \geq 1,6f_p$ звукоизоляция увеличивается дополнительно на значение ΔR_4 , которое определяется по табл. 4.7.

Таблица 4.7

Материал заполнения	Заполнение промежутка материалом, %	ΔR_4
Пористо-волоконистый (минеральная вата, стекловолокно)	20	2
	30	3
	40	4
	50–100	5
Пористый с жестким скелетом (пенопласт, пенополистирол, фибролит)	100	3

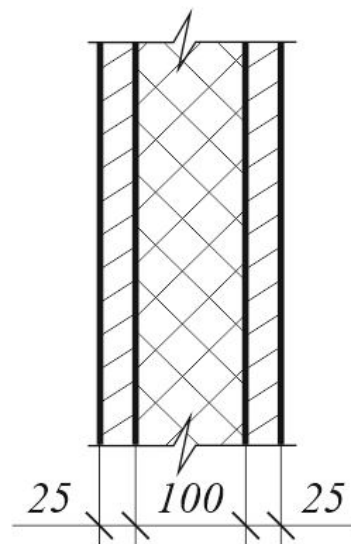
5. При построении частотной характеристики звукоизоляции конструкции на частоте $f = 1,6f_p$ (2/3-октавные полосы выше частоты резонанса) отмечается точка Q с ординатой на значение ΔR_4 выше точки, лежащей на отрезке FK , и соединяется с точкой F .

6. Далее частотная характеристика строится параллельно частотной характеристике звукоизоляции конструкции с незаполненным воздушным промежутком.

Ломаная линия $A_1EFQK_1L_1M_1N_1P_1$ является частотной характеристикой изоляции воздушного шума данной конструкцией (рис. 4.5).

Пример 5

Построить частотную характеристику изоляции воздушного шума перегородкой, выполненной из двух гипсокартонных листов толщиной 25 мм и плотностью 1100 кг/м^3 по металлическому каркасу. Пространство между листами толщиной 100 мм заполнено минеральной ватой плотностью 50 кг/м^3 .



1. Построение выполняется на основе частотной характеристики изоляции воздушного шума перегородкой из одного листа большей толщины (пример п. 4.1.1.2).

2. Определяется общая поверхностная плотность ограждения:

$$m_{\text{общ}} = m_1 + m_2 + m_3 = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3 = 1100 \cdot 0,025 + 1100 \cdot 0,025 + 50 \cdot 0,1 = 60 \text{ кг/м}^2.$$

3. По табл. 4.5 определяется поправка ΔR_1 . Для отношения $m_{\text{общ}}/m_1 = 60/27,5 = 2,2$ $\Delta R_1 = 5,0 \text{ дБ}$.

Строится вспомогательная линия $A_1B_1C_1D_1$ путем прибавления к ординатам линии $ABCD$ поправки ΔR_1 .

4. Определяется частота резонанса f_p конструкции:

$$f_p = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{dm_1 m_2}} = 60 \sqrt{\frac{27,5 + 27,5}{0,1 \cdot 27,5 \cdot 27,5}} = 51,5 \text{ Гц} \approx 50 \text{ Гц}.$$

5. По методике, описанной выше в разделе, строится частотная характеристика изоляции воздушного шума перегородкой без заполнения минеральной ватой:

– до частоты $0,8f_p = 0,8 \cdot 50 = 40 \text{ Гц}$ частотная характеристика совпадает с кривой $A_1 B_1 C_1 D_1$;

– на частоте $f_p = 50 \text{ Гц}$ звукоизоляция принимается на 4 дБ ниже линии $A_1 B_1 C_1 D_1$ (отмечается точка F , $R_F = 19 \text{ дБ}$);

– на частоте $8f_p = 8 \cdot 50 = 400 \text{ Гц}$ находится точка K с ординатой $R_K = R_F + H = 19 + 26 = 45 \text{ дБ}$; величина H определяется по табл. 4.6 в зависимости от толщины прослойки (для 100 мм прослойки $H = 26 \text{ дБ}$);

– от точки K проводится отрезок KL с наклоном 4,5 дБ на октаву до частоты $f_B = 800 \text{ Гц}$, $R_L = 49,5 \text{ дБ}$; находим превышение ординаты точки L над точкой B_1 , $\Delta R_2 = R_L - R_{B1} = 8,5 \text{ дБ}$;

– от точки L до частоты $1,25f_B = 1,25 \cdot 800 = 1000 \text{ Гц}$ проводится горизонтальный отрезок LM ;

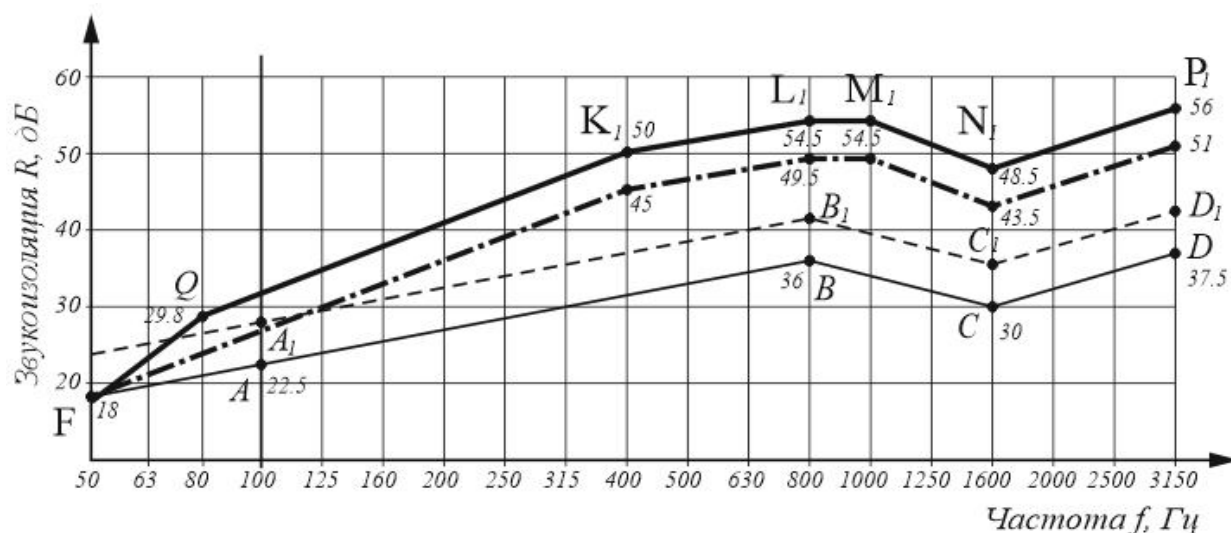
– на частоте f_C находится точка N путем прибавления к ординате точки C поправки ΔR_2 , $R_N = R_C + \Delta R_2 = 35 + 8,5 = 43,5 \text{ дБ}$;

– далее проводится отрезок NP с наклоном 7,5 дБ на октаву до частоты 3150 Гц.

6. По табл. 4.7 определяется поправка ΔR_4 ; для заполнения прослойки минеральной ватой на 100 % $\Delta R_4 = 5 \text{ дБ}$.

На частоте $1,6f_p = 1,6 \cdot 50 = 80 \text{ Гц}$ находится точка Q с ординатой $R_Q = R_{80 \text{ Гц}} + \Delta R_4 = 24,8 + 5 = 29,8 \text{ дБ}$;

7. Далее частотная характеристика строится параллельно частотной характеристике звукоизоляции конструкции с незаполненным воздушным промежутком.



8. Представляем построенную частотную характеристику изоляции воздушного шума в табличной форме в нормируемом диапазоне частот.

f , Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R , дБ	32,7	35,6	38,5	41,4	44,3	47,2	50	51,5	53	54,5	54,5	51,5	48,5	51	53,5	56
							K_1			L_1	M_1		N_1			P_1

4.1.2. Определение индекса изоляции воздушного шума ограждениями R_w

4.1.2.1. Определение индекса изоляции воздушного шума ограждениями R_w с использованием их частотных характеристик

Основной методикой для определения индекса изоляции воздушного шума R_w является методика сопоставления известной частотной характеристики изоляции воздушного шума с нормативной оценочной кривой.

Расчет ведется в табличной форме в нормируемом диапазоне частот (от 100 до 3150 Гц) в следующей последовательности.

1. В строку 1 заносятся значения частотной характеристики звукоизоляции ограждения.

2. В строку 2 заносятся значения оценочной кривой. Оценочная кривая в нормируемом диапазоне частот приведена в табл. 4.8.

3. Вычисляется разница между значениями оценочной кривой и звукоизоляцией ограждающей конструкцией для каждой частоты.

$$\Delta_i = R_i^{oc} - R_i^{огр}.$$

Значения Δ_i , превышающие 0 дБ, заносятся в строку 3. В данной методике данные значения называют неблагоприятными отклонениями (вниз от оценочной кривой).

4. Вычисляется сумма неблагоприятных отклонений по строке 3. Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, значения оценочной кривой (строка 2) уменьшаются на целое число дБ до тех пор, пока сумма вновь вычисленных неблагоприятных отклонений не станет меньше 32 дБ, но максимально близкой к 32 дБ.

Если сумма неблагоприятных отклонений значительно меньше 32 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, значения оценочной кривой увеличиваются на целое число дБ, до тех пор, пока сумма неблагоприятных отклонений не приблизится к 32 дБ, но не превысит их.

Расчет проводится последовательно в табличной форме до достижения значений итоговой оценочной кривой.

5. Величина индекса изоляции воздушного шума определяется по значению итоговой измененной оценочной кривой на частоте 500 Гц.

Пример 6

Определить индекс изоляции воздушного шума стеной из керамического кирпича толщиной 250 мм и плотностью 1400 кг/м³ с использованием частотной характеристики изоляции воздушного шума.

Расчет индекса изоляции воздушного шума определяется на основании известной частотной характеристики. Для заданной стены частотная характеристика приведена в примере раздела 4.1.1.1.

Расчета R_w приведен в таблице.

№ п/п	Наименование показателя	Средние частоты третьоктавных полос, Гц																
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
1	Частотная характеристика ограждения R , дБ	40	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	65	65	
2	Оценочная кривая, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	Σ
3	Неблагоприятные отклонения	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,5
4	Оценочная кривая, смещенная вверх на 4 дБ, дБ	37	40	43	46	49	52	55	56	57	58	59	60	60	60	60	60	Σ
5	Неблагоприятные отклонения	–	–	1	2	3	4	5	4	3	2	1	–	–	–	–	–	25
6	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ								56									

4.1.2.2. Определение индекса изоляции воздушного шума ограждениями R_w без использования их частотных характеристик

При ориентировочных расчетах индекс изоляции воздушного шума массивными ограждающими конструкциями сплошного сечения из бетона, железобетона, кирпича и тому подобных

материалов с поверхностной плотностью от 100 до 800 кг/м² допускается определять по формуле:

$$R_w = 37 \lg m + 55 \lg K - 43, \text{ дБ}, \quad (4.9)$$

где m – поверхностная плотность, кг/м² (для ребристых конструкций принимается без учета ребер); K – коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью.

Для сплошных ограждающих конструкций плотностью $\gamma = 1800$ кг/м³ и более $K = 1$.

При ориентировочных расчетах индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ ограждающими конструкциями из тяжелого бетона с круглыми пустотами допускается определять по формуле:

$$R_w = 23 \lg m + 13,3 \lg \frac{h}{h_{np}} - 8, \quad (4.10)$$

где h_{np} – приведенная толщина плиты, м; h – толщина плиты, м.

Приведенная толщина сечения h_{np} представляет собой толщину материального слоя сечения, из которого вычтена площадь пустот.

Пример 7

Определить индекс изоляции воздушного шума стеной из керамического кирпича толщиной 250 мм и плотностью 1400 кг/м³ без использования частотной характеристики изоляции воздушного шума.

1. Определяется поверхностная плотность ограждающей конструкции:

$$m = \gamma h = 1400 \cdot 0,25 = 350 \text{ кг/м}^2.$$

2. По табл. 4.3 определяется коэффициент K (в силу того, что плотность ограждения $\gamma < 1800$ кг/м³), $K = 1,2$.

3. По формуле 4.9 рассчитывается индекс изоляции воздушного шума:

$$R_w = 37 \lg m + 55 \lg R - 43 = 37 \lg 350 + 55 \lg 1,2 - 43 = 55,5 \text{ дБ}.$$

4.1.3. Определение звукоизоляции транспортного шума

$$R_{\text{Атран}}$$

Величину звукоизоляции конструкции от транспортного шума $R_{\text{Атран}}$, дБА определяют на основании известной частотной характеристики изоляции воздушного шума конструкции R_i с помощью эталонного спектра шума потока городского транспорта $L_{\text{ти}}$. Эталонный спектр скорректирован по кривой частотного спектра «А» для шума с уровнем 75 дБА (строка 2, табл. 4.8).

При сравнении частотной характеристики R_i с эталонным спектром $L_{\text{ти}}$ по каждой третьоктавной полосе определяют разность $(L_{\text{ти}} - R_i)$, а полученные уровни складывают энергетически по формуле:

$$10 \lg \sum 10^{0,1(L_{\text{ти}} - R_i)}, \text{ дБА.} \quad (4.11)$$

Полученный результат вычитают из уровня эталонного шума, равного 75 дБА. Окончательная формула для определения величины звукоизоляции конструкции от транспортного шума $R_{\text{Атран}}$ примет вид:

$$R_{\text{Атран}} = 75 - 10 \lg \sum 10^{0,1(L_{\text{ти}} - R_i)}, \text{ дБА.} \quad (4.12)$$

где L_i – скорректированные по кривой частотной коррекции «А» уровни звукового давления эталонного спектра в i -й третьоктавной полосе частот, дБ; R_i – изоляция воздушного шума данной конструкцией окна в i -й третьоктавной полосе частот (или частотная характеристика изоляции) дБ.

Таблица 4.8

**Значения оценочной кривой изоляции воздушного шума
и эталонного спектра шума транспортного потока**

Показатель	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Оценочная кривая изоляции воздушного шума, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
Оценочная кривая приведенного уровня ударного шума, дБ	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	54	52
Эталонный спектр шума транспортного потока L_T , дБ	55	55	56	59	60	61	62	63	64	66	67	66	65	64	62	60

Пример 8

Определить величину изоляции транспортного шума $R_{Атран}$ для окна с известной частотной характеристикой изоляции воздушного шума.

1. Расчет производится в табличной форме. В строку 1 заносятся данные по известной частотной характеристике, в строку 2 заносятся значения эталонного спектра шума транспортного потока по табл. 4.9.

Показатель	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Част. хар-ка изоляции шума R , дБ	22,5	24	25,5	27	28,5	30	31,5	33	34,5	36	34	32	30	32,5	35	37,5
Эт. спектр шума тр. потока L_T , дБ	55	55	56	59	60	61	62	63	64	66	67	66	65	64	62	60
$(L_T - R)$	32,5	31	30,5	32	31,5	31	30,5	30	29,5	30	33	34	35	31,5	27	22,5
$10^{0,1(L - R)}$	1778	1259	1122	1585	1413	1259	1122	1000	891	1000	1995	2512	3162	1413	501	178

2. По формуле 4.12 определяется величина изоляции транспортного шума $R_{Атран}$

$$R_{Атран} = 75 - 10 \lg \sum 10^{0.1(L_{Ti} - R_i)} = 75 - 10 \lg 20412 = 32 \text{ дБА}$$

4.1.4. Определение индекса изоляции воздушного шума R_w междуэтажным перекрытием со звукоизоляционным слоем

Индекс изоляции воздушного шума R_w междуэтажным перекрытием со звукоизоляционным слоем определяются по табл. 4.9 в зависимости от величины индекса изоляции воздушного шума несущей плитой перекрытия R_{w0} , определенного в соответствии с п. 4.1.2 данного пособия и частоты резонанса конструкции f_p , Гц, определяемой по формуле (4.8).

В формуле (4.8): E_d – динамический модуль упругости материала звукоизоляционного слоя, Па, принимаемый по табл. 4.10; m_1 – поверхностная плотность несущей плиты перекрытия, кг/м²; m_2 – поверхностная плотность конструкции пола выше звукоизоляционного слоя (без звукоизоляционного слоя), кг/м²; d – толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии, м, определяемая по формуле:

$$d = d_0(1 - \varepsilon), \quad (4.13)$$

где d_0 – толщина звукоизоляционного слоя в необжатом состоянии, м; ε – относительное сжатие материала звукоизоляционного слоя под нагрузкой, принимаемой по табл. 4.10.

Таблица 4.9

Конструкция пола	f_p , Гц	Индекс изоляции воздушного шума перекрытием R_w , дБ, при индексе изоляции несущей плитой перекрытия R_{w0} , дБ,					
		43	46	49	52	55	57
1. Деревянные полы по лагам, уложенным на звукоизоляционный слой в виде ленточных прокладок с $E_d=5 \cdot 10^5 - 12 \cdot 10^5$ Па при расстоянии между полом и несущей плитой 60–70 мм	160	53	54	55	56	57	58
	200	50	52	53	54	56	58
	250	49	51	52	53	55	57
	320	48	49	51	53	55	—
	400	47	48	50	52	—	—
	500	46	48	—	—	—	—
2. Покрытие пола на монолитной стяжке при сборных плитах с $m = 60 - 120$ кг/м ² по звукоизоляционному слою с $E_d = 3 \cdot 10^5 - 12 \cdot 10^5$ Па	63	—	55	56	57	58	59
	80	53	54	55	56	57	58
	100	52	53	54	55	56	58
	125	51	52	53	54	55	57
	160	50	51	53	54	55	57
	200	47	49	51	53	—	—
3. Покрытие пола на монолитной стяжке или сборных плитах с $m = 60 - 120$ кг/м ² по звукоизоляционному слою из песка с $E_d = 12 \cdot 10^6$ Па	200	—	53	54	55	56	58
	250	50	52	53	54	55	57
	320	49	51	52	54	55	57
	400	48	50	51	53	55	57
	500	47	49	51	53	55	57

Таблица 4.10

Материалы	Плотность кг/м ³	Динамический модуль упругости Е _д , Па, и относительное сжатие ε материала звукоизоляционного слоя при нагрузке на звукоизоляционный слой, Па					
		2000		5000		10000	
		Е _д	ε	Е _д	ε	Е _д	ε
1. Плиты минераловатные на синтетическом связующем:							
полужесткие	70–90	3,6·10 ⁵	0,5	4,5·10 ⁵	0,55	—	—
	95–100	4,0·10 ⁵	0,5	5,0·10 ⁵	0,55	—	—
жесткие	110–125	4,5·10 ⁵	0,5	5,5·10 ⁵	0,5	7,0·10 ⁵	0,6
	130–150	5,0·10 ⁵	0,4	6,0·10 ⁵	0,45	8,0·10 ⁵	0,55
2. Плиты из базальтового волокна на синтетическом связующем	70–90	1,9·10 ⁵	0,1	2,0·10 ⁵	0,15	2,6·10 ⁵	0,2
	100–120	2,7·10 ⁵	0,08	3,0·10 ⁵	0,1	4,0·10 ⁵	0,15
	125–150	3,6·10 ⁵	0,07	5,0·10 ⁵	0,08	6,5·10 ⁵	0,1
3. Маты минераловатные прошивные по ТУ 21-24-51-73	75–125	4,0·10 ⁵	0,65	5,0·10 ⁵	0,7	—	—
	126–175	5,0·10 ⁵	0,5	6,5·10 ⁵	0,55	—	—
4. Плиты древесноволокнистые мягкие по ГОСТ 4598-86	250	10·10 ⁵	0,1	11·10 ⁵	0,1	12·10 ⁵	0,15
5. Прессованная пробка	200	11·10 ⁵	0,1	12·10 ⁵	0,2	12,5·10 ⁵	0,25
6. Песок прокаленный	1300–1500	120·10 ⁵	0,03	130·10 ⁵	0,04	140·10 ⁵	0,06
7. Материалы из пенополиэтилена и пенополипропилена							
Велимат		1,4·10 ⁵	0,19	1,6·10 ⁵	0,37	2,0·10 ⁵	0,5
Изолон		2,0·10 ⁵	0,05	3,4·10 ⁵	0,1	4,2·10 ⁵	0,2
Энергофлекс		2,7·10 ⁵	0,04	3,8·10 ⁵	0,1	—	—
Термофлекс		4,0·10 ⁵	0,03	4,8·10 ⁵	0,1	—	—

Пример 9

Определить индекс изоляции воздушного шума междуэтажным перекрытием, состоящим из монолитной железобетонной несущей плиты плотностью 2500 кг/м^3 толщиной 150 мм . Конструкция пола состоит из досок толщиной 35 мм , уложенным по деревянным лагам сечением $100 \times 50 \text{ мм}$ с шагом 500 мм , под лаги уложены полосовые прокладки из жестких минераловатных плит плотностью 140 кг/м^3 толщиной 4 см в необжатом состоянии. Полезная нагрузка 2000 Па .

1. Определяются поверхностные плотности элементов перекрытия:

$$m_1 = 2500 \cdot 0,15 = 375 \text{ кг/м}^2;$$

$$m_2 = 600 \cdot 0,035 (\text{доски}) + 600 \cdot 0,05 \cdot 0,1 \cdot 2 (\text{лаги}) = 27 \text{ кг/м}^2;$$

2. Определяется нагрузка на звукоизоляционную прокладку (с учетом того, что на 1 м^2 пола приходятся 2 лаги).

$$\frac{2000 + 27}{0,1 \cdot 2} = 10350 \text{ Па}.$$

3. Определяется индекс изоляции воздушного шума для несущей плиты перекрытия по формуле 4.9:

$$R_{w0} = 37 \lg m + 55 \lg R - 43 = 37 \lg 375 + 55 \lg 1 - 43 = 52,2 \text{ дБ} \approx 52 \text{ дБ}.$$

4. По табл. 4.10 определяется динамический модуль упругости E_d , Па, и относительное сжатие ε материала звукоизоляционного слоя:

$$E_d = 8 \cdot 10^5 \text{ Па}, \varepsilon = 0,55.$$

5. *Определяется толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии:*

$$d = d_0(1 - \varepsilon) = 0,04(1 - 0,55) = 0,018 \text{ м.}$$

6. *Определяется частота резонанса конструкции по формуле 4.8:*

$$f_p = 0,16 \sqrt{\frac{E_D (m_1 + m_2)}{d m_1 m_2}} = 0,16 \sqrt{\frac{8 \cdot 10^5 \cdot (375 + 27)}{0,018 \cdot 375 \cdot 27}} = 212,5 \text{ Гц} \approx 200 \text{ Гц.}$$

7. *По табл. 4.9 определяется индекс изоляции воздушного шума данным междуэтажным перекрытием:*

$$R_w = 54 \text{ дБ.}$$

4.2. Определение характеристик изоляции ударного шума

4.2.1. Определение индекса приведенного уровня ударного шума междуэтажным перекрытием

4.2.1.1. Определение индекса приведенного уровня ударного шума ограждениями L_{nw} с использованием их частотных характеристик

Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} для перекрытия с известной частотной характеристикой приведенного уровня ударного шума определяется по ГОСТ Р ЕН 12354-2 сопоставлением этой частотной характеристики с оценочной кривой, приведенной в табл. 4.8.

Расчет проводится по аналогии с определением индекса изоляции воздушного шума (п. 4.1.2.1) с небольшими изменениями в табличной форме в нормируемом диапазоне частот (от 100 до 3150 Гц) в следующей последовательности.

1. В строку 1 заносятся значения частотной характеристики приведенного уровня ударного шума L_{ni} , дБ.

2. В строку 2 заносятся значения оценочной кривой. Оценочная кривая в нормируемом диапазоне частот приведена в табл. 4.8.

3. Вычисляется разница между значениями частотной характеристики и оценочной кривой для каждой частоты.

$$\Delta_i = L_i^{огр} - L_i^{оц}.$$

Значения Δ_i , превышающие 0 дБ, заносятся в строку 3. В данной методике данные значения называют неблагоприятными отклонениями (вверх от оценочной кривой).

4. Вычисляется сумма неблагоприятных отклонений по строке 3. Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, значения оценочной кривой (строка 2) увеличиваются на целое число дБ до тех пор, пока сумма вновь вычисленных неблагоприятных отклонений не станет меньше 32 дБ, но максимально близкой к 32 дБ.

Если сумма неблагоприятных отклонений значительно меньше 32 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, значения оценочной кривой уменьшаются на целое число дБ до тех пор, пока сумма неблагоприятных отклонений не приблизится к 32 дБ, но не превысит их.

Расчет проводится последовательно в табличной форме до достижения значений итоговой оценочной кривой.

5. Величина индекса приведенного уровня ударного шума определяется по значению итоговой измененной оценочной кривой на частоте 500 Гц.

Пример 10

Определить индекс приведенного уровня ударного шума для перекрытия с известной частотной характеристикой.

Расчет проводится в форме таблицы.

Расчет индекса приведенного уровня ударного шума

№ п/п	Наименование показателя	Средние частоты третьоктавных полос, Гц																
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
1	Частотная характеристика приведенного уровня ударного шума L_n , дБ	65	67	69	72	75	78	78	76	68	67	65	60	58	54	51	48	
2	Оценочная кривая, дБ	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45	42	Σ
3	Неблагоприятные отклонения	3	5	7	10	13	16	17	16	9	9	8	6	7	6	6	6	144
4	Оценочная кривая, смещенная вверх на 9 дБ, дБ	71	71	71	71	71	71	70	69	68	67	66	63	60	57	54	51	Σ
5	Неблагоприятные отклонения	–	–	–	1	4	7	8	7	–	–	–	–	–	–	–	–	27
6	Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} , дБ									69								

Индекс приведенного уровня ударного шума равен 69 дБ.

4.2.1.2. Определение индекса приведенного уровня ударного шума междуэтажным перекрытием с полом на звукоизоляционном упругом слое L_{nw} без использования их частотных характеристик

Индекс приведенного уровня ударного шума, дБ под междуэтажным перекрытием с полом на звукоизоляционном слое следует определять по табл. 4.12 в зависимости от значения индекса приведенного уровня ударного шума для несущей плиты перекрытия (сплошного сечения или с круглыми пустотами) L_{nw0} , определенного по табл. 4.11, и частоты f_0 собственных колебаний пола, лежащего на звукоизоляционном слое. Частота f_0 , Гц определяется по формуле:

$$f_0 = 0,16 \sqrt{\frac{E_d}{dm_2}}, \quad (4.14)$$

где E_d – динамический модуль упругости звукоизоляционного слоя, Па, принимаемый по табл. 4.10; d – толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии, м; m_2 – поверхностная плотность пола (без звукоизоляционного слоя), кг/м.

Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} , дБ под перекрытием без звукоизоляционного слоя с полом из рулонных материалов следует определять по формуле:

$$L_{nw} = L_{nw0} - \Delta L_{nw}, \text{дБ}, \quad (4.15)$$

где ΔL_{nw} – индекс снижения приведенного уровня ударного шума, дБ, принимаемый в соответствии с паспортными данными на рулонный материал.

Таблица 4.11

Значения L_{nw0} , дБ, в зависимости от поверхностной плотности несущей плиты перекрытия, кг/м²

Поверхностная плотность несущей плиты перекрытия, кг/м ²	Значение L_{nw0} , дБ
150	86
200	84
250	82
300	80
350	78
400	77
450	76
500	75
550	74
600	73
Примечания 1. При подвесном потолке из листовых материалов (ГКЛ, ГВЛ) из значений L_{nw0} вычитается 1 дБ. 2. При заполнении пространства над подвесным потолком звукопоглощающим материалом из значений L_{nw0} вычитается 2 дБ	

Таблица 4.12

**Индексы приведенного уровня ударного шума под
перекрытием L_{nw} , дБ, при индексе для несущей плиты
перекрытия L_{nw0} , дБ**

Конструкция пола	f_0 , Гц	Индексы приведенного уровня ударного шума под перекрытием L_{nw} , дБ при индексе для несущей плиты перекрытия L_{nw0} , дБ						
		86	84	82	80	78	76	74
Деревянные полы по лагам, уложенным на звукоизоляционный слой (ЗИ-слой) в виде ленточных прокладок с $E_d = 5 \cdot 10^5 - 12 \cdot 10^5$ Па при расстоянии между полом и несущей плитой перекрытия 60–70 мм	160	59	58	56	55	54	54	53
	200	61	60	58	57	55	54	54
	250	62	61	59	58	56	55	55
	315	64	62	60	59	57	56	56
Покрытие пола на сборных плитах с $m = 30$ кг/м ² по ЗИ-слою с $E_d = 3 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5$ Па	100	60	58	56	54	52	51	50
	125	64	62	60	58	56	55	54
	160	68	66	64	62	60	59	58
	200	70	68	66	64	62	61	60
	250	72	70	68	66	64	63	62
Покрытие пола на монолитной стяжке или сборных плитах с $m = 60$ кг/м ² по ЗИ-слою с $E_d = 3 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5$ Па	60	61	58	56	54	51	49	48
	80	62	59	57	56	53	52	51
	100	64	61	59	57	56	55	54
	125	66	63	61	59	58	57	56
	160	68	65	63	61	60	58	57
	200	70	68	66	64	62	60	59
То же по ЗИ-слою из песка с $E_d = 12 \cdot 10^6$ Па	160	62	60	58	57	55	54	53
	200	65	63	61	59	58	57	56
	250	67	65	63	61	60	59	58
	315	71	69	67	66	64	63	62
Покрытие пола на монолитной стяжке или сборных плитах с $m = 120$ кг/м ² по ЗИ-слою с $E_d = 3 \cdot 10^5 - 10 \cdot 10^5$ Па	60	59	56	54	52	50	48	47
	80	61	58	56	54	53	50	49
	100	63	60	58	57	55	53	52
	125	65	62	60	58	56	54	53
	160	67	64	62	60	58	56	55
	200	68	65	64	62	60	58	57
То же по ЗИ-слою из песка $E_d = 12 \cdot 10^6$ Па	160	61	58	56	55	53	52	51
	200	63	60	58	57	55	54	53
	250	65	63	61	59	58	57	56
	315	69	67	65	64	62	61	60

Пример 11

Определить индекс приведенного уровня ударного шума под междуэтажным перекрытием, состоящем из монолитной железобетонной несущей плиты толщиной 200 мм и плотностью 2500 кг/м^3 . Конструкция пола состоит из звукоизоляционного слоя из материала Пенотерм толщиной 10 мм в необжатом состоянии, гипсобетонной панели плотностью 1300 кг/м^3 толщиной 50 мм и линолеума средней плотностью 1100 кг/м^3 толщиной 3 мм. Полезная нагрузка 2000 Па .

1. Определяются поверхностные плотности элементов перекрытия:

$$m_1 = 2500 \cdot 0,20 = 500 \text{ кг/м}^2 ;$$
$$m_2 = 1300 \cdot 0,05 + 1100 \cdot 0,003 = 68,3 \text{ кг/м}^2 .$$

2. Определяется нагрузка на звукоизоляционный слой:

$$2000 + 683 = 2683 \text{ Па}.$$

3. По табл. 4.11 определяется индекс приведенного уровня ударного шума несущей плитой перекрытия:

$$\text{При } m = 500 \text{ кг/м}^2 L_{nw0} = 75 \text{ дБ}.$$

4. По табл. 4.10 определяется динамический модуль упругости E_d , Па, и относительное сжатие ε материала звукоизоляционного слоя:

$$E_d = 6,6 \cdot 10^5 \text{ Па}, \varepsilon = 0,1.$$

5. Определяется толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии:

$$d = d_0 (1 - \varepsilon) = 0,01(1 - 0,1) = 0,009 \text{ м}.$$

6. Определяется частота резонанса конструкции по формуле 4.8:

$$f_p = 0,16 \sqrt{\frac{E_d}{dm_2}} = 0,16 \sqrt{\frac{6,6 \cdot 10^5}{0,009 \cdot 68,3}} = 165 \text{ Гц} \approx 160 \text{ Гц}.$$

7. По табл. 4.12 определяется индекс изоляции приведенного уровня ударного шума под междуэтажным перекрытием:

$$L_{nw} = 57,5 \text{ дБ}.$$

Глава 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

5.1. Основные приемы увеличения звукоизоляции ограждающих конструкций

В СП 275.1325800.2016 «Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции» приведены общие рекомендации по проектированию ограждающих конструкций, обеспечивающих нормативную звукоизоляцию.

- элементы ограждений рекомендуется проектировать из материалов с плотной структурой, не имеющей сквозных пор. Наружные слои ограждений, выполненных из материалов со сквозной пористостью, должны быть из плотного материала, бетона или раствора;

- внутренние стены и перегородки из кирпича, керамических и шлакобетонных блоков рекомендуется проектировать с заполнением швов на всю толщину (без пустошовки) и оштукатуренными с двух сторон безусадочным раствором;

- ограждающие конструкции необходимо проектировать так, чтобы в процессе строительства и эксплуатации в их стыках не было и не возникло даже минимальных сквозных щелей и трещин. Возникающие в процессе строительства щели и трещины после их расчистки должны устраняться конструктивными мерами и заделкой невысыхающими герметиками и другими материалами на всю глубину;

- в конструкциях каркасно-обшивных перегородок следует предусматривать точечное крепление листов к каркасу с шагом не менее 300 мм. Если применяют два слоя листов обшивки с одной стороны каркаса, то они не должны склеиваться между собой. Шаг стоек каркаса и расстояние между его горизонтальными элементами рекомендуется принимать не менее 600 мм;

- для увеличения изоляции воздушного шума стеной или перегородкой, выполненной из железобетона, бетона, кирпича и т.п., в ряде случаев, целесообразно использовать дополнительную обшивку на отnose;

– в качестве материала обшивки могут использоваться: гипсокартонные листы, твердые древесно-волоконистые плиты и подобные листовые материалы, прикрепленные к стене по деревянным рейкам, по линейным или точечным маякам из гипсового раствора. Воздушный промежуток между стеной и обшивкой целесообразно выполнять толщиной 40–50 мм и заполнять мягким звукопоглощающим материалом (минераловатными или стекловолоконистыми плитами, матами и т.п.).

Обобщим основные практические приемы по увеличению звукоизоляции ограждающих конструкций (рис. 5.1):

а) увеличение поверхностной плотности ограждения за счет увеличения толщины конструкции или плотности материала;

б) применение двухслойных перегородок вместо однослойных той же массы;

в) увеличение ширины воздушной прослойки в двухслойном ограждении;

г) увеличение гибкости связи между листами двухслойной перегородки за счет увеличения шага между элементами каркаса;

д) увеличение гибкости связи между листами двухслойной перегородки за счет применения двойного каркаса;

е) увеличение гибкости связи между листами двухслойной перегородки за счет применения упругих прокладок;

ж) заполнение воздушной прослойки в двухслойном ограждении звукопоглощающим материалом;

з) применение вибродемпфирующих покрытий, для увеличения внутреннего трения между материалами ограждения и снижения резонансных эффектов.

5.2. Конструктивные решения звукоизоляции ограждающих конструкций

Величина звукоизоляции некоторых видов однослойных и многослойных ограждающих конструкций приведена в приложении А.

На практике существует необходимость также увеличить звукоизоляцию существующей конструкции. В этом случае применяется два основных решения: каркасная и бескаркасная звукоизоляционная обшивка конструкции.

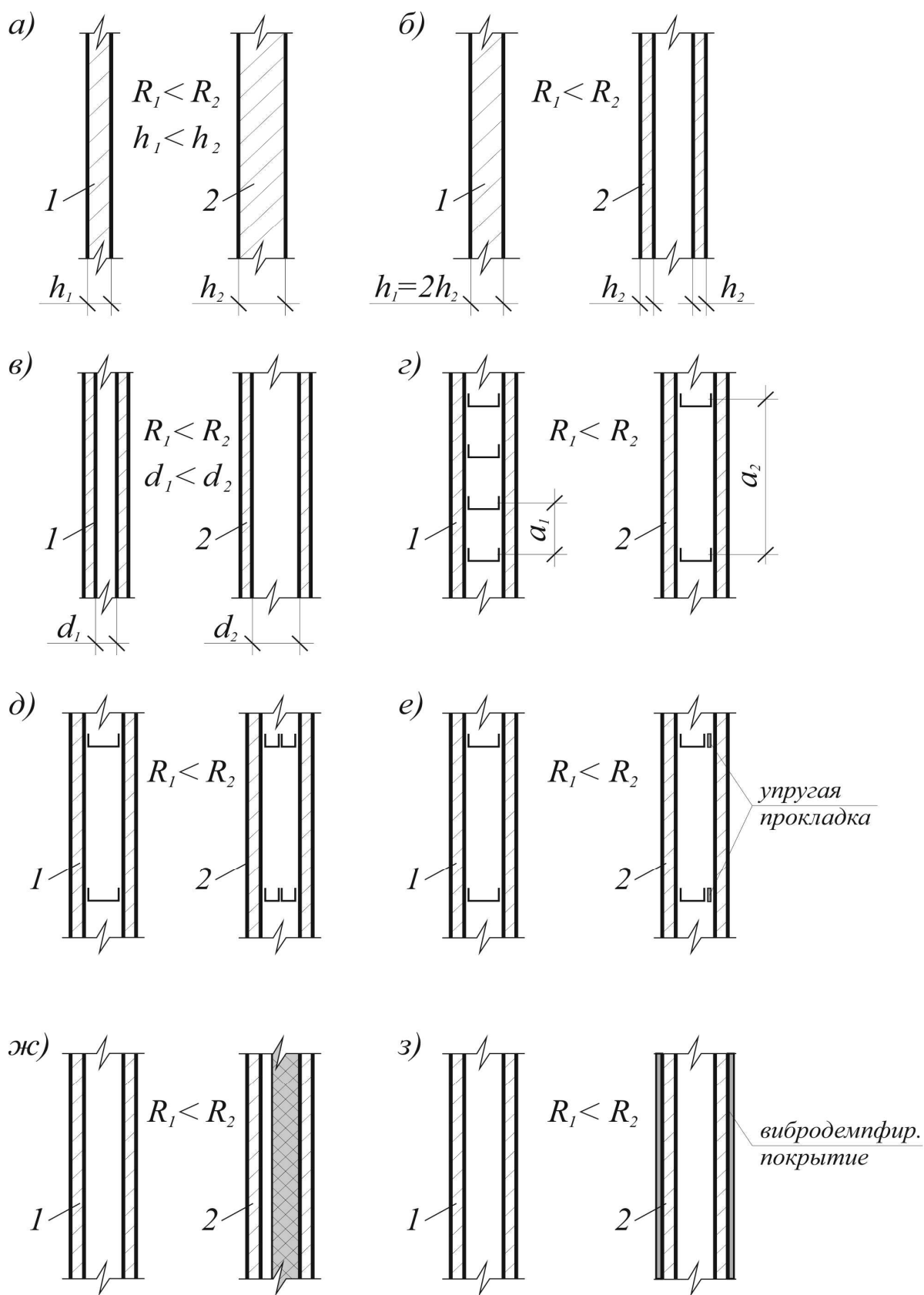


Рис. 5.1. Практические способы увеличения звукоизоляции ограждающих конструкций

5.2.1. Бескаркасная звукоизоляция стен и потолков

Конструкция бескаркасных звукоизолирующих облицовок применяется при строительстве и реконструкции зданий любого типа и назначения для дополнительной звукоизоляции однослойных массивных стен и перекрытий.

Бескаркасная система звукоизоляции представляет собой готовые плоские изделия по типу сэндвич-панелей, которые без зазоров и каркаса закрепляются непосредственно на изолируемую конструкцию при помощи универсальных саморезов или дюбель-шурупов. Сэндвич-панель состоит из двух слоев: внутреннего волокнистого и наружного жесткого. Как правило, для крепления бескаркасной системы звукоизоляции требуется абсолютно ровная поверхность, что приводит к дополнительным затратам ресурсов и времени во время монтажа. Система бескаркасной звукоизоляции может быть смонтирована как на стенах, так и на потолке.

Эффективность бескаркасной звукоизоляции увеличивается за счет увеличения толщины и звукопоглощающих характеристик внутреннего волокнистого слоя, а также путем применения виброизолирующих прокладок при креплении.

В табл. 5.1 приведены характеристики некоторых типов бескаркасной звукоизоляции.

Таблица 5.1

Звукоизоляционные свойства системы ЗИПС по данным измерений

Наименование конструкции	Толщина, мм	Индекс дополнительной изоляции воздушного шума ΔR_w , дБ
Саундлайн-ПГП Супер ¹⁾	23	6–10
ЗИПС-Вектор ²⁾	53	9–11
ЗИПС-Ультра ²⁾	55	11–13
ЗИПС-Модуль ²⁾	83	12–14
ЗИПС-Синема ²⁾	133	16–18
1) система смонтирована на перегородку из пустотелых пазогребневых плит толщиной 80 мм; 2) системы смонтированы без зазора на кирпичной стене с индексом изоляции воздушного шума $R_w = 50$ дБ		

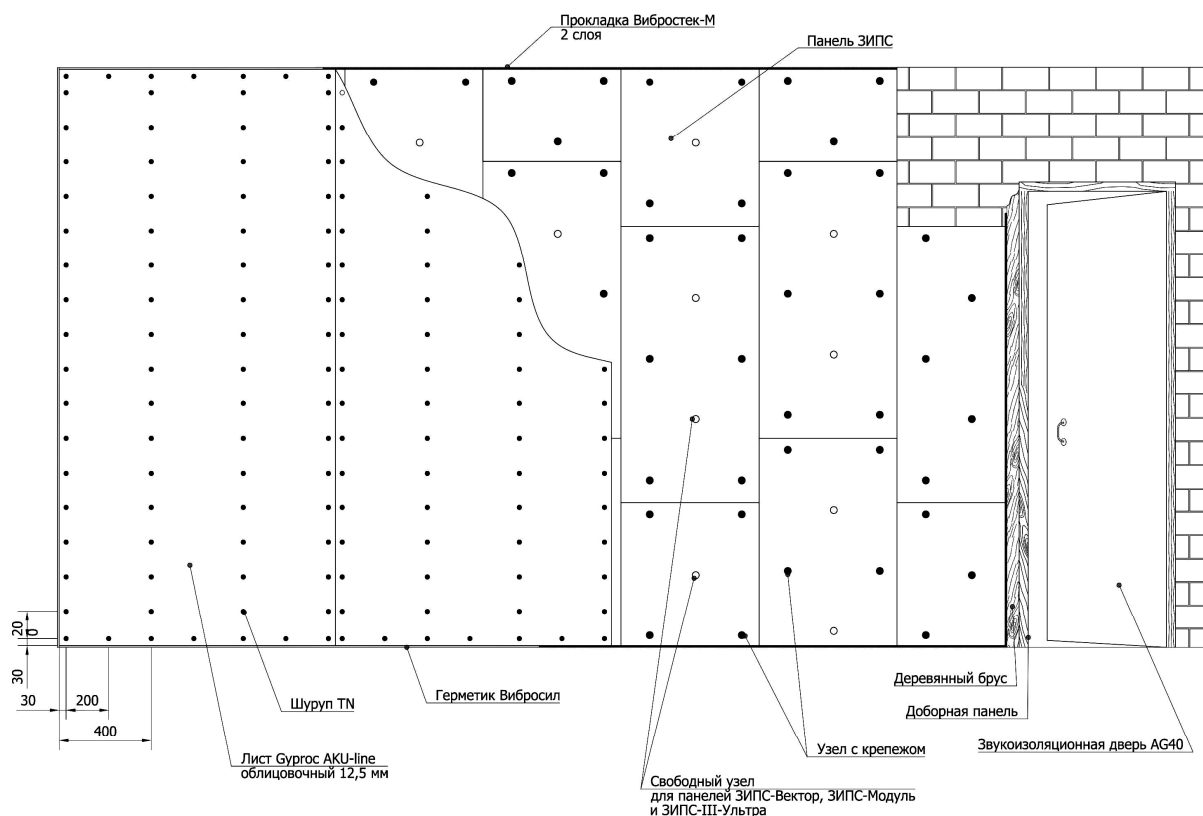


Рис. 5.2. Схема монтажа звукоизолирующей панельной системы ЗИПС

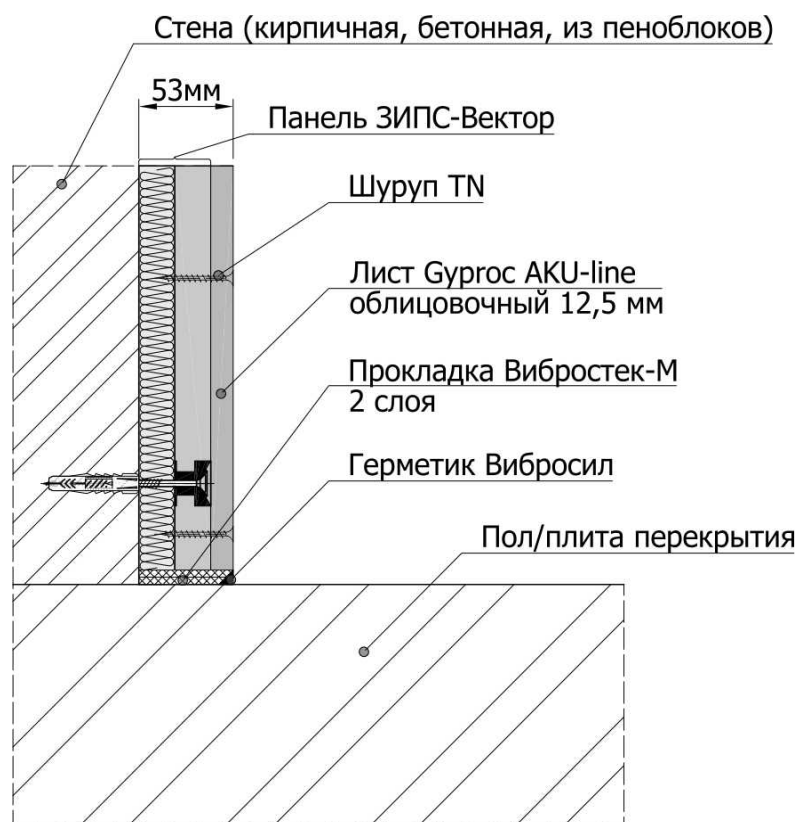


Рис. 5.3. Примыкание бескаркасной звукоизоляции к перекрытию пола/потолка

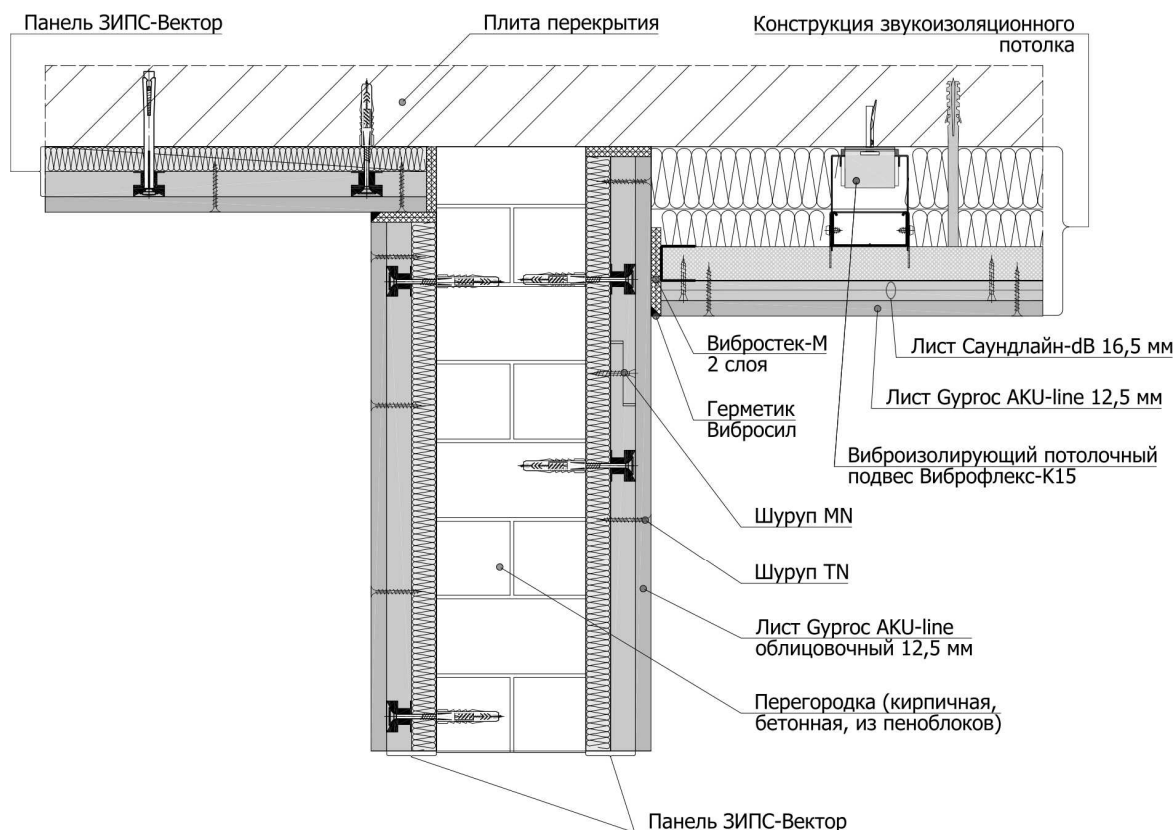


Рис. 5.4. Примыкание панелей ЗИПС-Вектор к панелям ЗИПС-Вектор на потолочном перекрытии и подвесному звукоизолирующему потолку

5.2.2. Каркасная звукоизоляция стен и потолков

Конструкции звукоизолирующих каркасно-обшивных облицовок состоит из каркаса, закрепляемого на изолируемой конструкции и облицовочного материала. Пространство между изолируемой конструкцией и облицовочным материалом для увеличения общей звукоизоляции часто заполняют дополнительно звукопоглощающим материалом.

Каркасная звукоизоляция, как правило, имеет большую общую толщину по сравнению с бескаркасной звукоизоляцией и большую эффективность при одинаковой стоимости. За счет наличия каркаса звукоизоляция такого типа не требует выравнивания поверхности изолируемой конструкции.

Эффективность каркасной звукоизоляции повышается за счет увеличения толщины звукопоглощающего материала внутри каркаса, виброизоляции каркаса облицовки от смежных конструкций за счет применения независимого каркаса, специальных вибродемпфирующих профилей, виброизолирующих креплений и прокладок.

В табл. 5.2 и 5.3 приведены характеристики некоторых типов каркасной звукоизоляции стен и потолка.

Таблица 5.2

Звукоизолирующие свойства каркасных облицовок по данным измерений

Наименование конструкции*	Толщина, мм	Индекс дополнительной изоляции воздушного шума $\Delta R_{w,2}$ дБ
Облицовка на независимом каркасе 50 мм	90	15–17
Облицовка на независимом сдвоенном каркасе 50 мм	90	15–17
Облицовка на независимом каркасе Виброфлекс 100 мм	140	16–18
Облицовка на каркасе ПП 60/27 с креплением к стене на опорах Виброфлекс-КС	90	15–17
Облицовка на каркасе ПП 60/27 с креплением к стене на опорах Виброфлекс-коннект ПС	90	14–16
* системы смонтированы на кирпичной стене с индексом изоляции воздушного шума $R_w = 50$ дБ		

Таблица 5.3

Звукоизолирующие свойства подвесных потолков по данным измерений

Наименование конструкции*	Толщина, мм	Индекс дополнительной изоляции воздушного шума $\Delta R_{w,2}$ дБ
Подвесной потолок, смонтированный на креплениях Виброфлекс-Коннект ПП	115	17–19
Подвесной потолок, смонтированный на креплениях Виброфлекс-К15	130	19–21
Подвесной потолок, смонтированный на креплениях Виброфлекс-К15 с удлинителями из профиля ПП 60–27	> 200	21–23
* системы смонтированы на базовом железобетонном перекрытии с индексом изоляции воздушного шума $R_w = 49$ дБ		

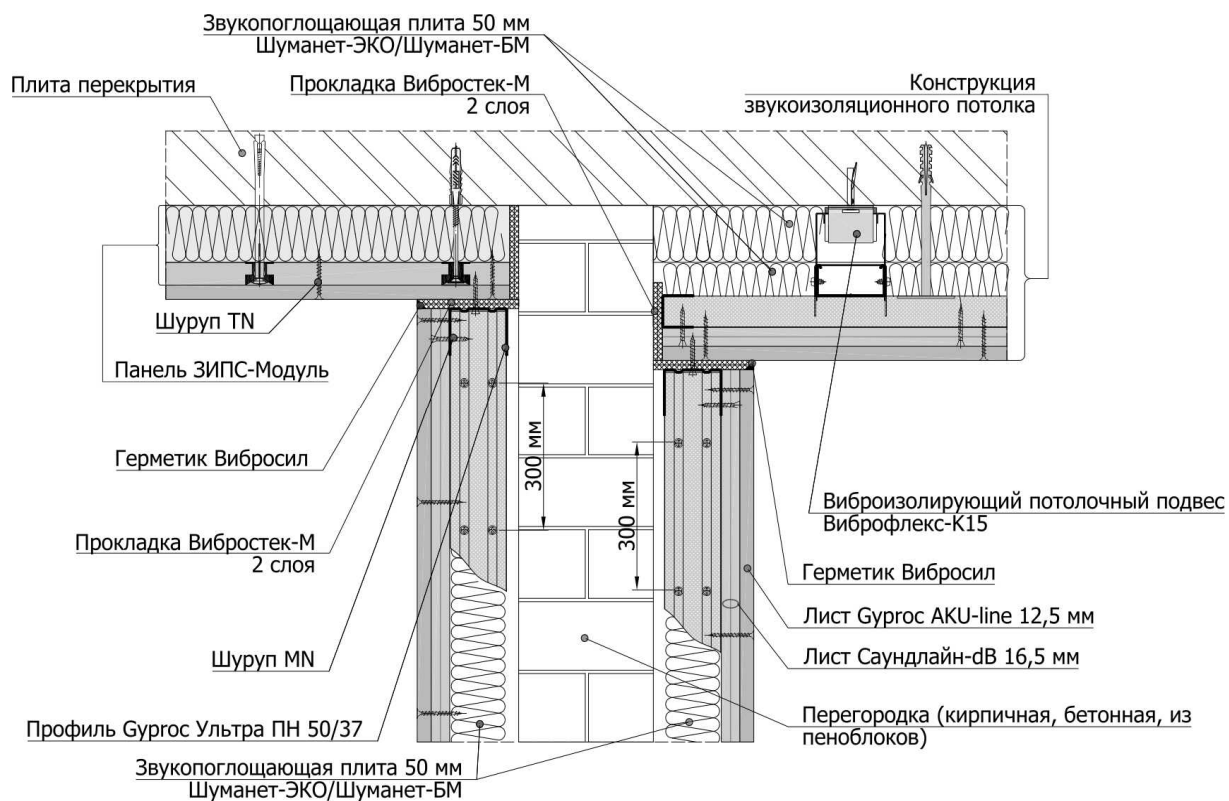


Рис. 5.5. Примыкание облицовки стены на независимом сдвоенном каркасе 50 мм к панелям ЗИПС на потолочном перекрытии и подвесному звукоизоляционному потолку

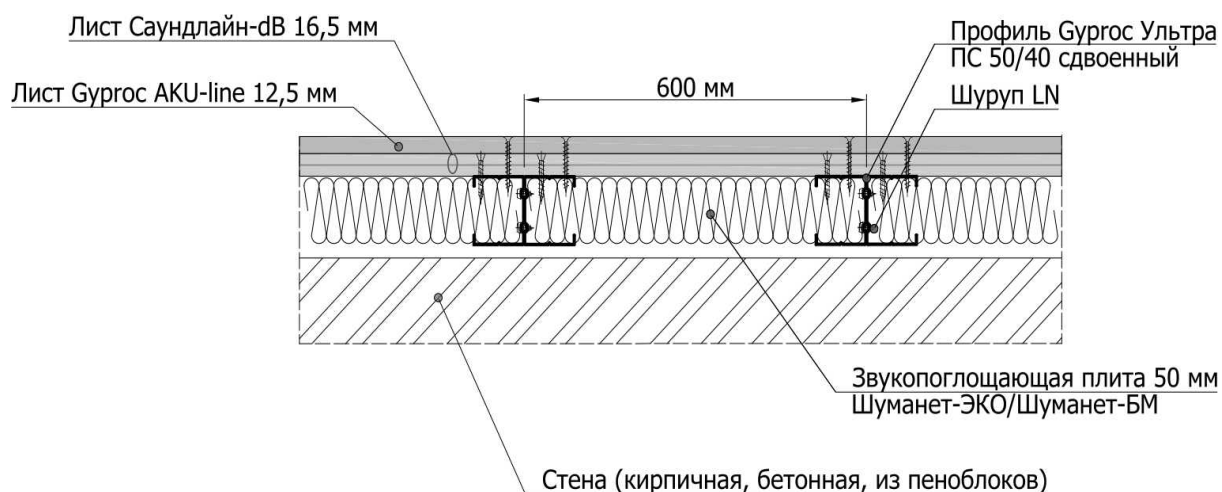


Рис. 5.6. Облицовка стены на независимом сдвоенном каркасе 50 мм, горизонтальный разрез

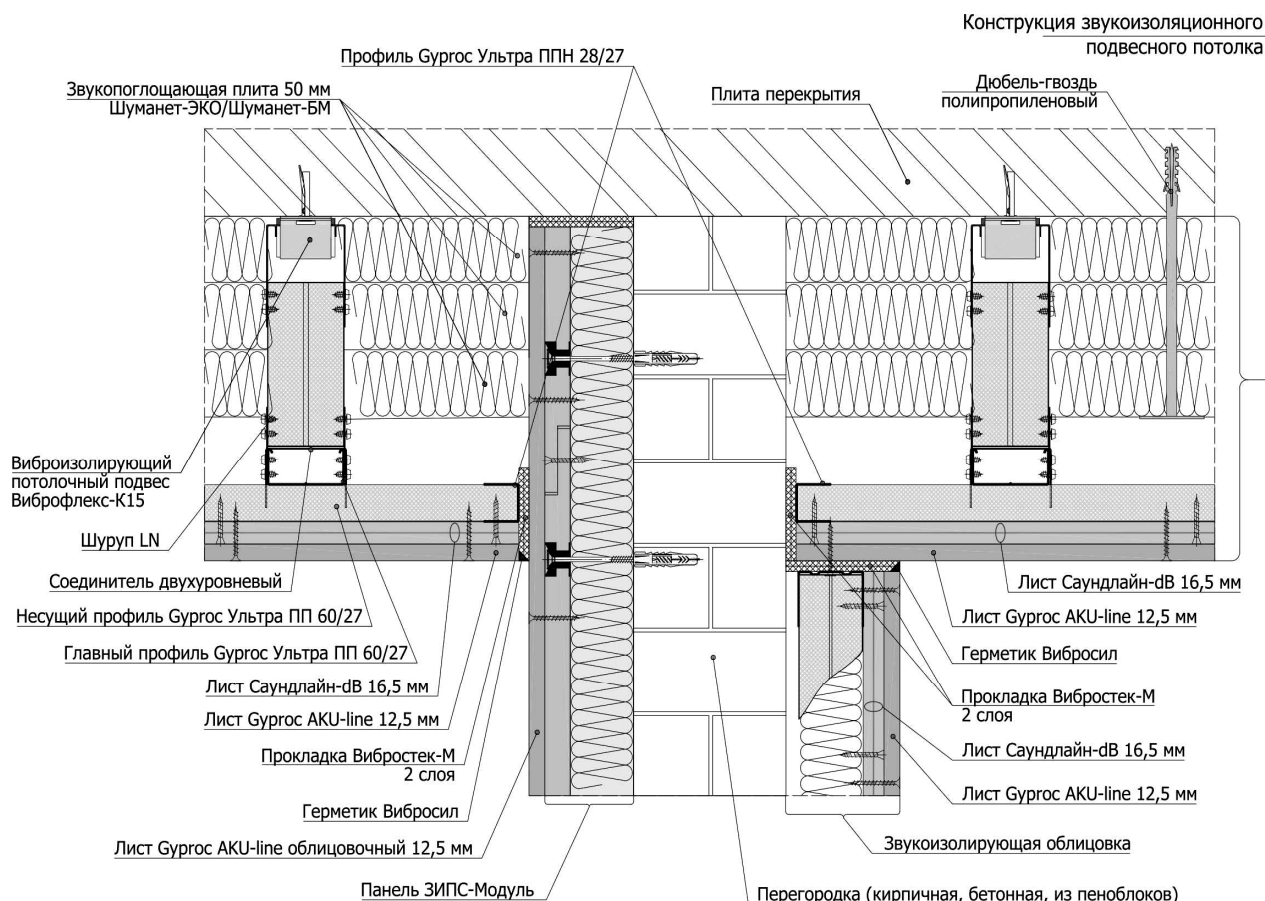


Рис. 5.7. Примыкание звукоизоляционного подвесного потолка, выполненного на виброизолирующих потолочных подвесах Виброфлекс-K15 к облицовкам стен. Конструкция на удлинителях из профилей ПП 60/27

5.3. Практические способы увеличения звукоизоляции ударного шума ограждающих конструкций

Железобетонная плита перекрытия способна обеспечить приведенный уровень ударного шума от 86 до 73 дБ в зависимости от величины поверхностной плотности. Требуемый приведенный уровень ударного шума для перекрытий жилых и общественных зданий должен составлять не более 55÷65 дБ. Таким образом, очевидно, что несущая плита перекрытия в одиночку не способна обеспечить нормативный уровень изоляции ударного шума. Поэтому по плите перекрытия необходимо устраивать различные конструкции пола (по упругому основанию, по лагам и упругим прокладкам, рулонные полы и т.п.).

Наиболее действенным методом уменьшения влияния ударного шума на смежное помещение является конструкция так называемого плавающего пола. Плавающий пол – это конструкция пола, состоящего из покрытия, жесткого основания, сформированного из монолитной либо сборной стяжки, а также слоя звукоизоляции из упруго-мягких или сыпучих материалов, уложенных на плиты перекрытия. Устройство плавающего пола характеризуется отсутствием жесткой связи между конструкцией собственно пола и базовой несущей конструкцией здания, что обеспечивает уменьшение передачи звуковых волн между ними. Такая конструкция позволяет устранить распространение ударного шума, который возникает в процессе механического воздействия на конструкцию пола (ходьба, передвижение предметов и так далее). Акустическая эффективность зависит от того, насколько мягкий упругий слой применен в конструкции – динамический модуль материала E_d должен быть не более 0,3 МПа. Изоляция ударного шума при этом зависит от толщины упругого слоя, а также от массы выравнивающей стяжки, уложенной сверху. Примыкание конструкции пола на звукоизоляционном слое к стене или перегородке показано на рис. 5.8–5.11.

При проектировании пола с основанием в виде монолитной плавающей стяжки следует располагать по звукоизоляционному слою сплошной гидроизоляционный слой (например, пергамин, гидроизол, рубероид и т.п.) с перехлестыванием в стыках не менее 20 см. В стыках звукоизоляционных плит (матов) не должно быть щелей и зазоров.

Другой возможный конструктивный вариант при размещении шумных помещений в первых нежилых этажах – устройство промежуточного (технического) второго этажа. При этом также необходимо выполнить расчеты, подтверждающие достаточную звукоизоляцию жилых помещений. Во всех случаях размещения в первых нежилых этажах помещений с источниками шума рекомендуется устройство в них подвесных потолков, значительно увеличивающих звукоизоляцию перекрытий.

Таблица 5.4

**Звукоизолирующие свойства конструкций «плавающих»
полов по данным измерений**

Наименование конструкции	Толщина конструкции звукоизоляционного пола, мм	Толщина звукоизолирующего материала, мм	Толщина выравнивающей стяжки, мм	Индекс снижения приведенного уровня ударного шума $\Delta L_{\text{дв}}$, дБ	Индекс дополнительной изоляции воздушного шума ΔR_w , дБ
Паркетная доска 15 мм на материале Акуфлекс	19±1	4	—	17	—
Ламинат 8 мм на материале Акуфлекс	12±1	4	—	20	—
Звукоизолирующий пол на материале Шуманет- 100 Комби	65±5	5	60	25	—
Звукоизолирующий пол на материале Шуманет- 100Гидро	65±5	5	60	24	—
Звукоизолирующий пол с одним слоем системы плиты Шумостоп С2/К2	80±5	20	60	39	8–10
Звукоизолирующий пол с двумя слоями системы плиты Шумостоп С2/К2	120±7	2х20	80	43	11–13
Звукоизолирующий пол с одним слоем материала Шумостоп К2	80±5	20	60	32	8–10
Звукоизолирующий пол с двумя слоями материала Шумостоп К2	100±5	2х20	60	34	10–12
Звукоизолирующая смесь Шумопласт 20 мм	80±5	20	60	28	7–9
Сборная звукоизолирующая система ЗИПС-Пол Вектор	79±5	20	по месту	32	6–8
Сборная звукоизолирующая система ЗИПС-Пол Модуль	109±5	50		38	7–9
Звукоизолирующий пол на лагах и прокладках	98±3	12		30	8–10

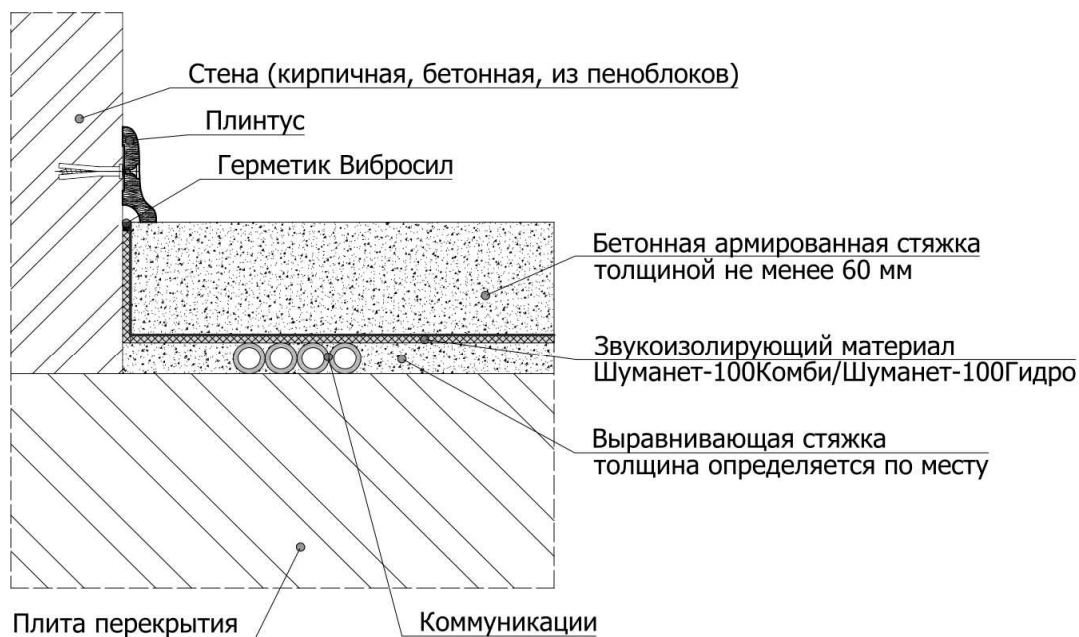


Рис. 5.8. Примыкание конструкции плавающего пола к стене

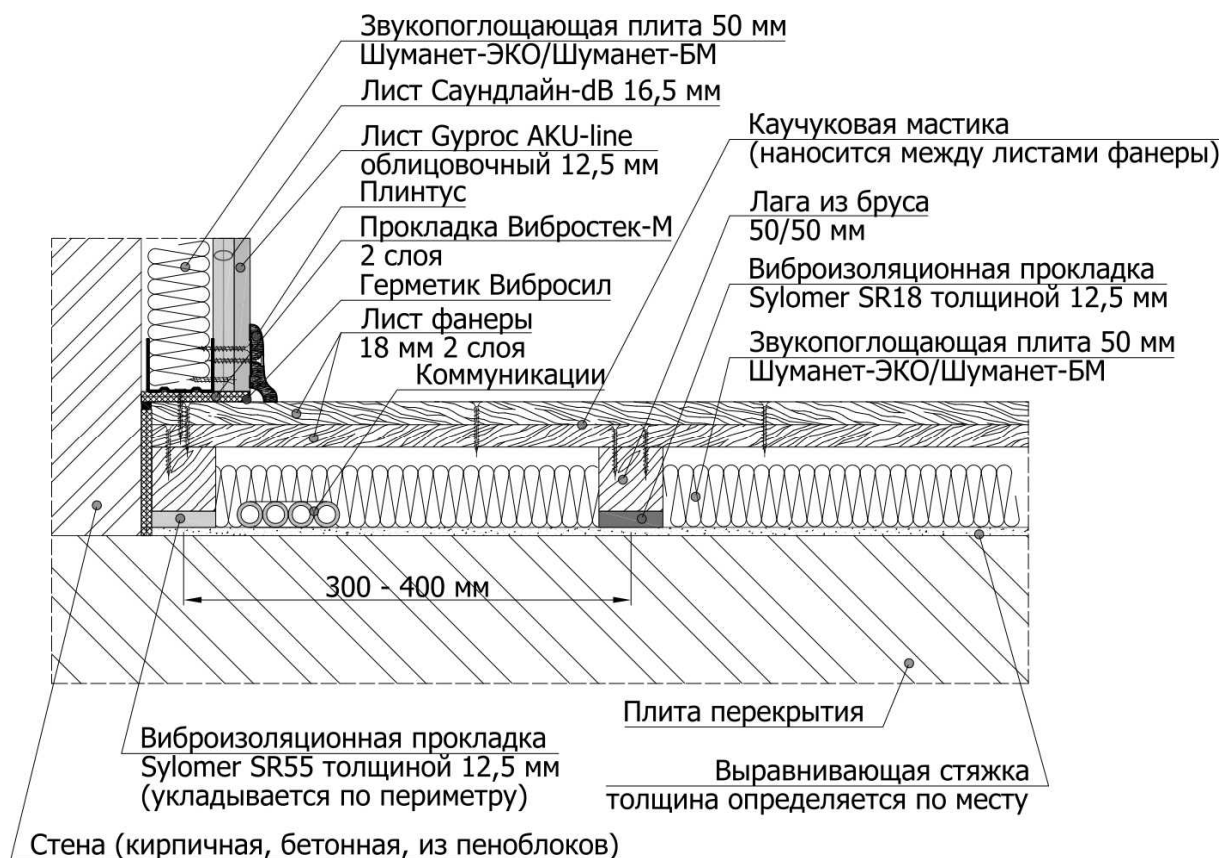


Рис. 5.9. Примыкание конструкции плавающего пола по деревянным лагам к стене

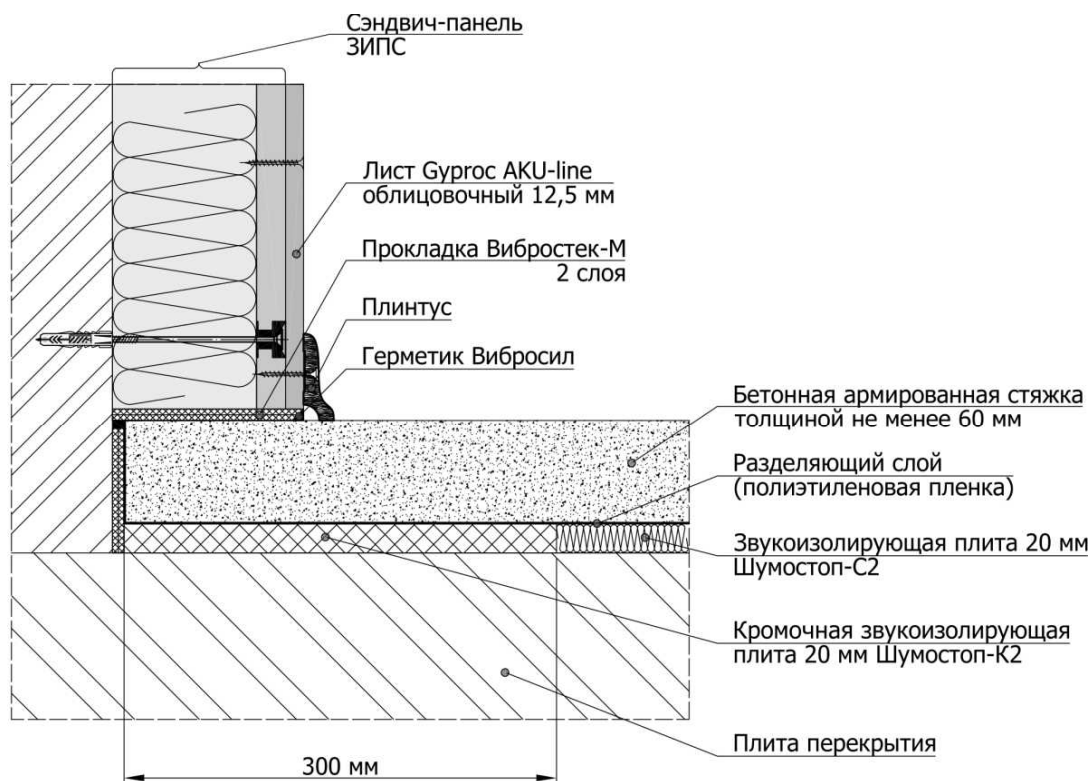


Рис. 5.10. Схема применения материала Акуфлекс под финишным покрытием в сочетании с конструкцией плавающего пола с применением звукоизолирующего материала Шумостоп

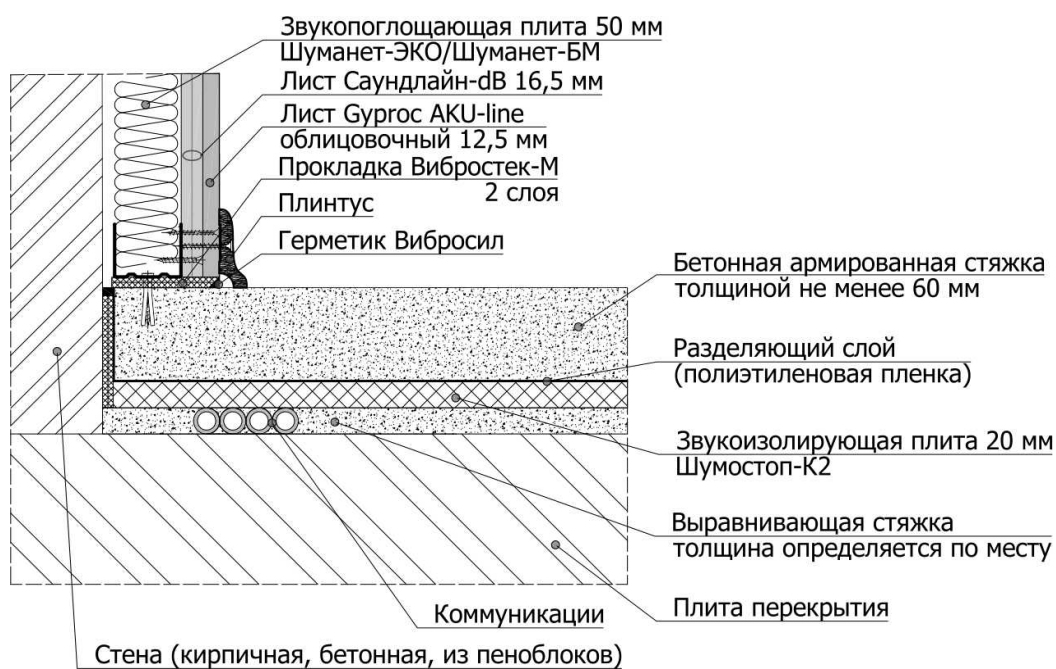


Рис. 5.11. Схема примыкания конструкции плавающего пола с применением звукоизолирующих плит Шумостоп-К2 в два слоя к стене и коммуникациями под стяжкой

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

ТРЕБУЕМАЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Требуемые нормативные индексы изоляции воздушного шума
ограждающих конструкций и приведенные уровни ударного шума
перекрытий при передаче звука сверху вниз [13]

Наименование и расположение ограждающей конструкции	R_w , дБ	$L_{пш}$, дБ
Жилые здания		
1. Перекрытия между помещениями квартир и перекрытия, отделяющие помещения квартир от холлов, лестничных клеток и используемых чердачных помещений	52	60
2. Перекрытия между помещениями квартир и расположенными под ними магазинами	55	60
3. Перекрытия между комнатами в квартире в двух уровнях	45	63
4. Перекрытия между жилыми помещениями общежитий	50	60
5. Перекрытия между помещениями квартиры и расположенными под ними ресторанами, кафе, спортивными залами	57	63
6. Перекрытия между помещениями квартиры и расположенными под ними административными помещениями, офисами	52	63
7. Стены и перегородки между квартирами, между помещениями квартир и офисами; между помещениями квартир и лестничными клетками, холлами, коридорами, вестибюлями	52	—
8. Стены между помещениями квартир и магазинами	55	
9. Стены и перегородки, отделяющие помещения квартир от ресторанов, кафе, спортивных залов	57	
10. Перегородки без дверей между комнатами, между кухней и комнатой в квартире	43	
11. Перегородки между санузлом и комнатой одной квартиры	47	
12. Стены и перегородки между комнатами общежитий	50	
13. Входные двери квартир, выходящие на лестничные клетки, в вестибюли и коридоры	32	—
Гостиницы		
14. Перекрытия между номерами: гостиницы, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	53	55

Наименование и расположение ограждающей конструкции	R_w, дБ	L_{пw}, дБ
гостиницы, имеющие по международной классификации три звезды	51	58
гостиницы, имеющие по международной классификации менее трех звезд	50	60
15. Перекрытия, отделяющие номера от помещений общего пользования (вестибюли, холлы, буфеты):		
гостиницы, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	53	55
гостиницы, имеющие по международной классификации три звезды и менее	51	58
16. Перекрытия, отделяющие номера от помещений ресторанов, кафе:		
гостиницы, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	60	58
гостиницы, имеющие по международной классификации три звезды и менее	57	60
17. Стены и перегородки между номерами:		
гостиницы, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	53	—
гостиницы, имеющие по международной классификации три звезды	51	—
гостиницы, имеющие по международной классификации менее трех звезд	50	—
18. Стены и перегородки, отделяющие номера от помещений общего пользования (лестничные клетки, вестибюли, холлы, буфеты):		
гостиницы, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	53	—
гостиницы, имеющие по международной классификации три звезды и менее	51	—
19. Стены и перегородки, отделяющие номера от ресторанов, кафе:		
гостиницы, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	60	—
гостиницы, имеющие по международной классификации три звезды и менее	57	—
Административные здания, офисы		
20. Перекрытия между рабочими комнатами, кабинетами, секретариатами и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования (вестибюли, холлы)	45	63

Наименование и расположение ограждающей конструкции	R_w, дБ	L_{пw}, дБ
21. Стены и перегородки между кабинетами и отделяющие кабинеты от рабочих комнат	45	—
22. Стены и перегородки между офисами различных фирм, между кабинетами различных фирм	48	—
Больницы и санатории		
23. Перекрытия между палатами, кабинетами врачей	48	60
24. Перекрытия между операционными и отделяющие операционные от палат и кабинетов	54	60
25. Перекрытия, отделяющие палаты, кабинеты врачей от помещений общего пользования (вестибюли, холлы)	50	63
26. Перекрытия, отделяющие палаты, кабинеты врачей от столовых, кухонь	54	63
27. Стены и перегородки между палатами, кабинетами врачей	48	—
28. Стены и перегородки между операционными и отделяющие операционные от других помещений	54	—
Учебные заведения		
29. Перекрытия между классами, кабинетами, аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования (коридоры, вестибюли, холлы)	47	63
30. Перекрытия между музыкальными классами средних учебных заведений	55	58
31. Перекрытия между музыкальными классами высших учебных заведений	57	55
32. Стены и перегородки между классами, кабинетами и аудиториями и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	48	—
33. Стены и перегородки между музыкальными классами средних учебных заведений и отделяющие эти помещения от помещений общего пользования	55	
34. Стены и перегородки между музыкальными классами высших учебных заведений	57	
Детские дошкольные учреждения		
35. Перекрытия между групповыми комнатами, спальнями	47	63
36. Перекрытия, отделяющие групповые комнаты, спальни от кухонь	51	63
37. Стены и перегородки между групповыми комнатами, спальнями и между другими детскими комнатами	47	—
38. Стены и перегородки, отделяющие групповые комнаты, спальни от кухонь	52	—

Нормативные индексы приведенного уровня ударного шума при передаче звука снизу вверх [13]

Наименование и расположение ограждающей конструкции	$L_{пш}$, дБ
1. Перекрытия между магазинами и расположенными над ними квартирами	43
2. Перекрытия между продовольственными магазинами, магазинами, работающими круглосуточно, и расположенными над ними квартирами	38
3. Перекрытия между магазинами и расположенными над ними жилыми помещениями общежитий	45
4. Перекрытия между продовольственными магазинами, магазинами, работающими круглосуточно, и расположенными над ними жилыми помещениями общежитий	41
5. Перекрытия между ресторанами, кафе, спортивными залами и расположенными над ними помещениями квартиры	38
6. Перекрытия между административными помещениями, офисами и расположенными над ними помещениями квартиры	45
7. Перекрытия, отделяющие помещения общего пользования (вестибюли, холлы, буфеты) от номеров гостиниц: гостиницы, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	43
гостиницы, имеющие по международной классификации три звезды и менее	45
8. Перекрытия, отделяющие помещения ресторанов, кафе от номеров гостиниц: гостиницы, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	38
гостиницы, имеющие по международной классификации три звезды и менее	41
9. Перекрытия, отделяющие помещения общего пользования (вестибюли, холлы) от палат, кабинетов врачей	43
10. Перекрытия, отделяющие столовые, кухни от кабинетов врачей	43
11. Перекрытия, отделяющие кухни от групповых комнат, спален	43

Нормативные требования к звукоизоляции окон

Назначение помещений	Требуемое значение $R_{\text{Атран}}$, дБА при эквивалентных уровнях звука у фасадов зданий от транспортного шума в часы «пик», дБА				
	60	65	70	75	80
Палаты больниц, санаториев, кабинеты медицинских учреждений	15	20	25	30	35
Жилые комнаты квартир в домах:					
Категории А	15	20	25	30	35
Категории Б и В	—	15	20	25	30
Жилые комнаты общежитий	—	—	15	20	25
Номера гостиниц:					
Категории А	15	20	25	30	35
Категории Б	—	15	20	25	30
Категории В	—	—	15	20	25
Жилые помещения домов отдыха, домов-интернатов для инвалидов	15	20	25	30	35
Рабочие комнаты, кабинеты в административных зданиях и офисах:					
Категории А	—	—	15	20	25
Категории Б и В	—	—	—	15	20

ВЕЛИЧИНА ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ НЕКОТОРЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Однослойные конструкции

Строительный материал	Толщина конструкции, мм	Расчетный индекс звукоизоляции, R_w , дБ
Кладка из сплошного керамического кирпича	120	47
	250	54
	510	60
Железобетон	140	50
Пенобетон (D300)	100	29
	150	35
	200	40
	300	43
Пенобетон (D300)	100	39
	150	44
	200	47
	300	55

Конструкции с применением стекла

Вид конструкции	Расчетный индекс звукоизоляции, R_w (C; C _{tr}), дБ
Однослойное стекло	
4 мм	29 (-1;-2)
6 мм	31 (-2;-2)
8 мм	32 (-1;-2)
10 мм	33 (-1;-2)
12 мм	37 (-2;-3)
Многослойное стекло (с полимерной пленкой по типу «триплекс»)	
44.2 SC Monolayer	37 (-1;-3)
66.2 SC Multilayer	40 (-1;-3)
88.2 SC Multilayer	41 (-1;-3)
1010.2 SC Multilayer	42 (-1;-3)
1212.2 SC Multilayer	43 (-1;-3)
Однокамерный стеклопакет	
4-24-4	31 (-1;-4)
6-22-4	35 (-1;-4)
6-20-6	33 (-2;- 4)
3.1.3-22-4	36 (-1;-5)
3.1.3-20-3.1.3	37 (-1;-5)
4.1.4-20-4	38 (-2;-6)
4.1.4-18.6	37 (-1;-3)
4.1.4-16-4.1.4	38 (-1;-5)

Вид конструкции	Расчетный индекс звукоизоляции, R_w (C; Ctr), дБ
Двухкамерный стеклопакет	
4-14-4-14-4	32 (-1;-6)
4-16-4-12-4	32 (-1;-6)
6-14-4-12-4	36 (-2;-7)
6-12-6-12-4	35 (-2;-6)
6-12-6-10-6	35 (-2;-6)
3.1.3-14-4-12-4	36 (-2;-8)
3.1.3-12-6-12-4	36 (-2;-8)
3.1.3-12-6-10-6	37 (-2;-8)
3.1.3-10-3.1.3-10-3.1.3	39 (-2;-8)
4.1.4-12-4-12-4	37 (-2;-8)
4.1.4-12-6-10-4	38 (-2;-8)
4.1.4-10-6-10-6	38 (-2;-8)
4.1.4-8.4.1.4-8.4.1.4	43 (-2;-7)

Каркасные перегородки по системе KNAUF

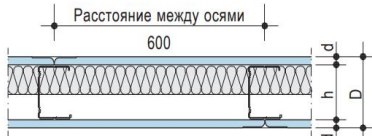
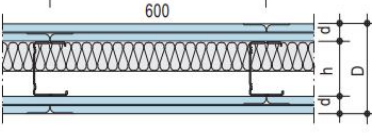
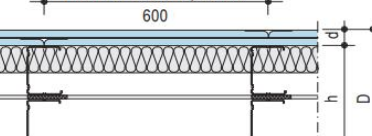
Схема перегородки	Тол- щина обшив- ки, d	Размеры, мм		Толщина звукоизоляци- онного слоя, мм	Индекс изоляции воздуш- ного шума R _w , дБ
		Высота стенки профи- ля, h	Толщина пере- городки, D		
С 111 Металлический каркас – однослойная обшивка					
	12,5	50	75	50	44
		75	100	50 75	45
		100	125	50 75 50+50	45 48 50
С 112 Металлический каркас – двухслойная обшивка					
	2x12,5	50	75	50	51
		75	100	50 75	51 52
		100	125	50 75 50+50	52 54 56
W115 Двойной спаренный металлический каркас – двухслойная обшивка					
	2x12,5	50+50	150	50	58
		75+75	200	50 2x75	59 60
		100+100	250	50 50+50 2x(50+50)	60 61 61

Схема перегородки	Тол- щина обшив- ки, d	Размеры, мм		Толщина звукоизолиру- ющего слоя, мм	Индекс изоляции воздуш- ного шума R _w , дБ
		Высота стенки профи- ля, h	Толщина пере- городки, D		
С 116 Двойной разнесенный металлический каркас – двухслойная обшивка					
	12,5	50+50	>195	50	58
		75+75	>250	50	59
				75	60
		100+100	>320	50 50+50	60 62
С 113 Металлический каркас – трехслойная обшивка					
	3x12.5	100	175	50 50+50	55 56
W142 Одинарный металлический каркас из MW-профилей – двухслойная обшивка					
	2x12,5	75	125	60	53
		100	150	80	54
W143 Одинарный металлический каркас из MW-профилей – трехслойная обшивка					
	3x12.5	75	150	60	56
		100	175	80	57
W145 Двойной металлический каркас из MW-профилей – двухслойная обшивка					
	2x12,5	75+75 (200)	250	2x60 + 40	65
		100x100 (250)	300		>65

Данные по звукоизоляции получены в результате проведенных испытаний в НИИ Строительной физики на соответствие СНиП 23-03-2003 «Защита от шума. Актуализированная редакция». В случае применения каменной ваты, показатели будут не ниже указанных в таблице. В качестве заполнителя применялась минеральная вата производства ООО «КНАУФ Инсулейшн» плотностью 15–17 кг/м³.

ЛИТЕРАТУРА

Учебная и научная литература

1. Лицкевич В.К. Архитектурная физика: учебник для вузов: Спец. «Архитектура» / В.К. Лицкевич, Л.И. Макриненко, И.В. Мигалина и др.; под ред. Н.В. Оболенского. – М.: Архитектура-С, 2007. – 448 с.
2. Бобылев В.Н. Изоляция воздушного шума однослойными ограждающими конструкциями: учеб. пособие / В.Н. Бобылев, В.А. Тишков, Д.В. Монич. – Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2014. – 67 с.
3. Осипов Л.Г. Звукоизоляция и звукопоглощение: учеб. пособие для студентов вузов / Л.Г. Осипов, В.Н. Бобылев, Л.А. Борисов и др.; под ред. Т.Л. Осипова, В.Н. Бобылева. – М.: АСТ – Астрель, 2004. – 450 с.
4. Соловьев А.К. Физика среды: учебник: – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 344 с.
5. Осипов Г.Л. Защита зданий от шума. – М.: СИ, 1972. – 215 с.
6. Киселева Е.Г. Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий: учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе для вечернего факультета. – М.: МАРХИ, 2011. – 52 с.
7. Виноградов Д.В. Современные методы расчета звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий: учеб. пособие. – М.: МГСУ, 2012. – 32 с.
8. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. – М.: Логос, 2008.

Справочники

9. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика; пер. с нем. – М.: Техносфера, 2004. – 480 с.
10. Справочник проектировщика. Защита от шума / Е.Я. Юдин, И.Д. Рассадина, В.Н. Никольский и др.; под ред. Е.Я. Юдина. – М.: С.И, 1974. – 143 с.

11. Звукоизолирующие конструкции. Альбом инженерных решений. Шифр: ASP-501-0118 © ООО «Акустик Групп», 2018.

12. Руководство по проектированию и устройству звукоизоляции строительных конструкций. Корпорация ТехноНИКОЛЬ, 2012.

Нормативная литература

13. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.

14. СП 254.1325800.2016. Здания и территории. Правила проектирования защиты от производственного шума.

15. СП 275.1325800.2016. Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий.

16. СНиП 23-03-2003. Защита от шума.

17. СП 23-103-2003. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.

18. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Санитарные нормы. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

19. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.

20. МГСН 2.04-97. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях.

21. Пособие к МГСН 2.04-97. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.

22. ГОСТ 23499-79. Материалы и изделия строительные звукопоглощающие и звукоизоляционные.

Иванцов Алексей Игоревич
Петров Артем Сергеевич
Куприянов Валерий Николаевич

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебное пособие