Система нормативных документов в строительстве

СВОД ПРАВИЛ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ

ОЦЕНКА ШУМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

СП 23-104-2004

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ
(ГОССТРОЙ РОССИИ)

Москва
2004

gost.e-ecolog.ru

ПРЕДИСЛОВИЕ

1 Разработан Общероссийской общественной организацией «Тоннельная ассоциация России»

ВНЕСЕН Управлением технического нормирования, стандартизации и сертификации в строительстве и ЖКХ Госстроя России

2 ПРИНЯТ и ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Госстроя России № 19 от 09.03.2004 г.

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий Свод правил не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстроя России.

ISBN 5-88111-169-9

© Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

Введение IV

1 Область применения 1

2 Нормативные ссылки 1

3 Акустические расчеты и выбор мероприятий по снижению шума на селитебной территории от источников, расположенных на наземных объектах метрополитенов 2
3.1 Общие положения 2
3.2 Выбор расчетных точек 4
3.3 Расчет ожидаемых уровней шума от стационарных объектов 4
3.4 Расчет ожидаемых уровней звука от движущихся объектов 24
3.5 Порядок подбора мероприятий по обеспечению требуемого снижения шума 29

4 Акустическое проектирование станций метрополитена 30
4.1 Общие положения 30
4.2 Перечень нормируемых параметров 31
4.3 Методика акустического проектирования строящихся и вновь создаваемых станций метрополитена 31
4.4 Методика акустической реконструкции действующих станций метрополитена 39
4.5 Пример акустического проектирования зала станции в уровне посадочной платформы метрополитена 40

5 Методы измерения и оценки шума в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов в метрополитенах 43
5.1 Общие положения 43
5.2 Нормируемые параметры и допустимые уровни шума 43
5.3 Средства измерений 44
5.4 Условия и правила проведения измерений 44
5.5 Обработка результатов измерений 45
5.6 Оценка шумового воздействия 45
5.7 Представление результатов 45

Приложение А Звукоизолирующая способность шумозащитных наружных ограждений 46

Приложение Б Уровни звуковой мощности шума, генерируемого в шумоглушителях 49

Приложение В Звукоизоляция объектов с помощью экранов 50

Приложение Г Общие требования к звукопоглощающим материалам и конструкциям, допускаемым к применению на станциях метрополитена 52

Приложение Д Частотные характеристики коэффициентов звукопоглощения некоторых материалов и конструкций 53

Приложение Е Эквивалентное звукопоглощение пассажиров на станции. Значения коэффициента *n* для учета поглощения звука в воздухе при температуре 20 °С 54

Приложение Ж Вычисление эквивалентного уровня звука за время оценки шумового воздействия 55

Приложение З Библиография 56

ВВЕДЕНИЕ

Шум — один из наиболее распространенных вредных факторов городской среды. Опыт эксплуатации метрополитенов показал, что они являются источником интенсивного шума на поверхности земли в окружающей жилой застройке, на производственной территории и внутри самих сооружений в тех случаях, когда не приняты соответствующие меры по его снижению. Внедрение новых технологических процессов, рост мощности и быстроходности механического оборудования, механизация привели к тому, что в процессе строительства и эксплуатации объектов метрополитенов население подвергается воздействию шума высоких уровней. Проблема борьбы с шумом является неотъемлемой частью охраны труда и защиты окружающей среды.

Инженерные объекты метрополитенов являются одними из основных источников шума в крупных городах. Много шума создают строительные площадки и электродепо, так как при их эксплуатации работают различные машины, механизмы и установки, которые являются интенсивными источниками как шума, так и вибрации. Высокая степень концентрации этих источников на сравнительно небольшой территории приводит к тому, что в окружающую среду проникает шум высокой интенсивности. Из всего многообразия машин и механизмов, работающих на объектах метрополитенов, в качестве источников шума, оказывающих наиболее неблагоприятное воздействие на окружающую среду, следует в первую очередь выделить мощное вентиляционное оборудование, особенно крышные вентиляторы и компрессоры. Связано это с тем, что помимо того, что шум от этих источников, особенно устанавливаемых открыто, является достаточно интенсивным, нормы на его допустимые значения — более жесткие.

Другими источниками неблагоприятного акустического воздействия являются работающий на объектах транспорт (обслуживающие стройплощадки большегрузные автомобили и поезда электродепо) и строительные механизмы (экскаваторы, бульдозеры, подъемные краны и т.п.). Особенностью этих источников является то, что они работают на открытом пространстве, что сильно затрудняет снижение их шума строительно-акустическими методами. К группе механизмов повышенного акустического риска следует отнести также оборудование производственных мастерских, грузовые подъемники и эстакады. Кроме того, что вышеуказанные источники создают в окружающей застройке повышенные уровни шума, часть их (например, поезда метро) работает в круглосуточном режиме, что в большинстве случаев приводит к нарушению шумового комфорта в ночное время. Этот шум вызывает справедливые жалобы населения. Положение усугубляется тем, что в проектах строительства и производства работ не уделяется должное внимание вопросам снижения шума.

В настоящем Своде правил приведены сведения об источниках шума, расположенных преимущественно на селитебной территории, примыкающей к линиям наземного и подземного метрополитена. Здесь изложены также методы расчета и оценки уровней шума и способы разработки шумозащитных мероприятий от объектов метрополитена.

В Своде правил рассмотрены вопросы акустического проектирования станций метрополитенов, в том числе проблемы обеспечения акустического комфорта в подземных вестибюлях и на платформах. В связи с этим он включает общий план и последовательность акустических расчетов, методы оптимизации акустических параметров, методику электроакустических расчетов, а также рекомендации по оптимальным способам применения и типам акустических материалов и конструкций.

В Своде правил рассмотрены также вопросы контроля шума, создаваемого в помещениях жилых и общественных зданий при движении поездов в метрополитенах, осуществляемого при приемке в эксплуатацию новых линий. В отличие от действующих нормативных документов по измерению и оценке шума (ГОСТ 23337, ГОСТ 20444) в настоящем Своде правил учтена специфика метрополитенов, состоящая в том, что шум, генерируемый при движении поездов, носит непостоянный прерывистый характер и повторяется с периодом, определяемым графиком движения поездов. Методы, установленные Сводом правил, позволяют по измерениям, выполненным в течение одного фиксированного режима движения поездов, определить уровни шума, характеризующие другие режимы. Это дает возможность оценить шумовое воздействие не только за 30 мин реализации режима наиболее интенсивного движения поездов, но также за установленное СН 2.2.4/2.1.8.562 [1] суммарное время оценки шумового воздействия в течение дня (16 ч) и ночи (8 ч).

Свод правил разработан на основе соответствующих руководств, подготовленных Виброакустической лабораторией МОО «Тоннельная ассоциация» и прошедших апробацию на линиях Московского метрополитена.

Он предназначен для архитекторов, инженеров и технических работников, занимающихся проектированием, строительством и приемкой новых и реконструкцией действующих объектов метрополитена, а также их эксплуатацией.

Свод правил входит в комплекс нормативных документов, подготовленных в связи с разработкой СНиП 32-02 «Метрополитены». Он может использоваться также при периодическом контроле действующих линий метрополитенов.

В разработке данного Свода правил принимали участие:

руководитель разработки — зав. виброакустической лабораторией ТАР, канд. техн. наук *С.А. Костарев*, научный консультант — д-р физ.-мат. наук, профессор *С.А. Рыбак*;

ответственные исполнители — главный научный сотрудник, д-р техн. наук, член-кор. Метрологической академии (разделы 1; 2; 3.1 —3.3.6; 3.5, приложения Ж, З) *И.Е. Цукерников*, ведущий научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук *В.Н. Алексеев*, ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук (разделы 1, 2, 4, приложения Г—Е, З) *Х.А. Ширжецкий*.

СВОД ПРАВИЛ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ

ОЦЕНКА ШУМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

NOISE ASSESSMENT IN DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF METRO UNITS

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий Свод правил распространяется на источники шума, используемые при строительстве и эксплуатации объектов метрополитенов, таких, как строительные площадки, электродепо, вестибюли станций, а также электропоезда.

Свод правил устанавливает требования, которыми следует руководствоваться при выполнении акустических расчетов по оценке степени шумового дискомфорта на селитебной территории, расположенной в окрестности объектов метрополитенов, и при разработке мероприятий для обеспечения допустимых уровней шума, регламентируемых санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [1].

В нем дана единая методика акустического проектирования и методы архитектурно-акустических, строительно-акустических и электроакустических расчетов основных типов помещений, представляющих подземные вестибюли станций метрополитена. К ним относятся: пропорциональные помещения разного объема без акустического разделения центрального вестибюля и посадочных платформ; пропорциональные помещения с разделением общего объема станции на систему связанных акустических объемов; диспропорциональные помещения с разной формой потолков (плоские или сводчатые), с единым акустическим объемом; диспропорциональные помещения с разной формой потолков и акустическим разделением общего объема станции на центральный и боковые объемы; закрытые и полузакрытые станции в уровне посадочных платформ.

Свод правил устанавливает также методы измерения и оценки шума, создаваемого в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов в метрополитенах. Измерения выполняют с целью контроля шума, создаваемого в помещениях жилых и общественных зданий при движении поездов в метрополитенах, на соответствие допустимым уровням по [1].

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем Своде правил использованы ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.1.036—81 ССБТ. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях

ГОСТ 11214—86. Окна и балконные двери деревянные с двойным остеклением для жилых и общественных зданий. Типы, конструкция и размеры

ГОСТ 17187—81. Шумомеры. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ 20444—85. Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики

ГОСТ 23337—78. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий

ГОСТ 23941—2002. Шум машин. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования

ГОСТ 24146—89. Зрительные залы. Метод измерения времени реверберации

ГОСТ 24699—2002. Блоки оконные деревянные со стеклопакетами. Технические условия

ГОСТ 25902—83. Зрительные залы. Метод определения разборчивости речи

СНиП 23-03-2003. Защита от шума

СНиП 32-02-2003. Метрополитены

Издание официальное

3 АКУСТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ И ВЫБОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА НА СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ ОТ ИСТОЧНИКОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТАХ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

3.1 Общие положения

3.1.1 Источниками шума на наземных объектах метрополитенов являются:

- поезда метрополитенов
- транспорт ;
- вентиляционное оборудование и компрессоры;
- технологическое оборудование;
- площадки погрузо-разгрузочных работ;
- строительные машины и механизмы.

По характеру изменения во времени шумы подразделяют на постоянные и непостоянные, в зависимости от того, изменяется ли уровень звука за время наблюдения не более или более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике «медленно» шумомера [1]. К постоянным шумам могут быть отнесены, например, шумы вентиляционных систем, компрессоров, трансформаторов, к непостоянным шумам — шумы автомобильного и железнодорожного транспорта, землеройных машин, подъемных механизмов и т.п.

3.1.2 Работы по снижению шума осуществляются по следующим основным направлениям:

- в источниках шума конструктивными методами (создание и применение малошумных агрегатов и экипажей);
- административными методами (регламентация времени работы источников шума);
- на пути распространения шума от источника до объектов шумозащиты архитектурно-планировочными и инженерно-строительными методами и средствами.

Настоящий Свод правил рассматривает главным образом средства снижения шума на пути его распространения.

3.1.3 Средства шумозащиты, способствующие обеспечению допустимых уровней шума, следует разрабатывать на основе акустических расчетов.

3.1.4 Нормируемыми параметрами постоянного шума являются уровни звукового давления L, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц [1]. Допускается использовать уровень звука L_A, дБА, в качестве характеристики постоянного широкополосного шума.

3.1.5 Оценка соответствия допустимым уровням для источников, создающих постоянный шум на защищаемых объектах, производится по формуле

$$\Delta L_{\text{сум тр}\,i} = L_{\text{сум}\,i} - L_{\text{доп}\,i}, \qquad (3.1)$$

где $L_{\text{сум}\,i}$ — суммарный уровень звукового давления в i-й октавной полосе частот в расчетной точке (измеренный или рассчитанный), дБ:

$$L_{\text{сум}\,i} = 10\lg\sum_{j=1}^{N} 10^{0,1L_{ij}}, \qquad (3.2)$$

N — число одновременно работающих источников шума;

L_{ij} — уровень звукового давления в i-й октавной полосе от j-го источника шума, дБ;

$L_{\text{доп}\,i}$ — допустимый уровень звукового давления на защищаемом объекте в данной октавной полосе, дБ [1].

Оценку соответствия шумового режима нормативным требованиям допускается выполнять по формуле

$$\Delta L_{\text{А сум тр}} = L_{\text{А сум}} - L_{\text{А доп}}, \qquad (3.3)$$

где $L_{\text{А сум}}$ — суммарный уровень звука от источников шума в расчетной точке, дБА, определенный с использованием частотной коррекции А, K_{Ai}, шумомера (см. таблицу 3.1)

$$L_{\text{Асум}} = 10\lg\sum_{i=1}^{9} 10^{0,1(L_{\text{сум}i}+K_{\text{A}i})}; \qquad (3.4)$$

$L_{\text{А доп}}$ — допустимый уровень звука на защищаемом объекте, дБА [1].

Таблица 3.1 — **Относительная частотная характеристика А шумомера по ГОСТ 17187**

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
K_{Ai}, дБ	−39,4	−26,2	−16,1	−8,6	−3,2	0	+1,2	+1,0	−1,1

Отрицательное значение величин $\Delta L_{\text{сум тр}}$ характеризует обеспеченность требований санитарных норм [1] в расчетной точке, положительное — необходимое снижение уровней шума, которое может быть достигнуто снижением излучаемого источниками шума или повышением шумозащитных качеств средств, препятствующих распространению шума.

3.1.6 Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентный $L_{\text{А экв}}$ и максимальный $L_{\text{А max}}$ уровни звука, дБА.

3.1.7 При работе на объекте метрополитена источников, создающих непостоянный шум, оценка соответствия нормативным требованиям выполняется по формулам:

$$\Delta L_{\text{А экв сум тр}} = L_{\text{А экв сум}} - L_{\text{А экв доп}}; \quad (3.5)$$

$$\Delta L_{\text{А max тр}} = L_{\text{А max}} - L_{\text{А max доп}}, \quad (3.6)$$

где $L_{\text{А экв сум}}$ — общий уровень звука в расчетной точке, определяемый как энергетическая сумма суммарного уровня звука $L_{\text{А сум}}$ от источников постоянного шума, определенного по формулам (3.2), (3.4), и суммарного эквивалентного уровня звука $L_{\text{А экв сум}}$ от источников непостоянного шума, дБА

$$\Delta L_{\text{А экв сум}} = 10\lg(10^{0,1L_{\text{А сум}}} + 10^{0,1L_{\text{А экв сум}}}). \quad (3.7)$$

При этом вначале определяется суммарный уровень по формуле (3.2), а затем выполняется коррекция А по формуле (3.4).

Суммарный эквивалентный уровень звука от источников непостоянного шума рассчитывают по формуле

$$L_{\text{А экв сум}} = 10\lg\sum_{j=1}^{N'} 10^{0,1L_{\text{А экв }j}}, \quad (3.8)$$

где $L_{\text{А экв }j}$ — эквивалентный уровень звука от j-го источника непостоянного шума, дБА;

N' — число источников непостоянного шума, работающих в течение времени оценки шумового воздействия (16 ч днем, 8 ч ночью [1]).

Эквивалентный уровень звука $L_{\text{А экв }j}$ определяется как среднее по интенсивности его значение за время оценки τ, т.е.

$$L_{\text{А экв }j} = 10\lg\left(\frac{1}{\tau}\sum_{k}^{m}\tau_k 10^{0,1L^k_{\text{А}j}}\right), \quad (3.9)$$

где m — число интервалов с различными значениями уровня звука во времени τ;

τ_k — длительность интервала с уровнем звука $L^k_{\text{А}j}$, ч.

3.1.8 Если суммарный шум в расчетной точке превышает допустимый уровень ($\Delta L_{\text{сум тр }i} > 0$ или $\Delta L_{\text{А сум тр}} > 0$; $\Delta L_{\text{А экв сум тр}} > 0$ или $\Delta L_{\text{А max тр}} > 0$), следует определить источники повышенного шума в данной расчетной точке и для каждого из них определить требуемое снижение шума.

Требуемое снижение шума следует определять отдельно для каждого источника из групп однотипных источников шума.

Примечание — Однотипными считают источники, для которых в рассматриваемой расчетной точке установлены одинаковые значения допустимых уровней шума (например, вентиляторы).

Требуемое снижение шума $\Delta L_{\text{тр }j}$ определяют для уровней звукового давления в расчетных точках для каждой октавной полосы частот.

Если группа однотипных источников содержит источники шума, уровни звукового давления в расчетной точке от которых различаются более чем на 10 дБ, такую группу разбивают на две подгруппы: подгруппу источников шума, уровни звукового давления от которых в рассматриваемой расчетной точке не более чем на 10 дБ отличаются от максимального уровня звукового давления в данной расчетной точке, и подгруппу остальных источников шума с более низкими уровнями звукового давления.

Для каждого из источников первой подгруппы вычисляют $\Delta L_{\text{тр }j}$ по формуле

$$\Delta L_{\text{тр }j} = L_j - L_{\text{доп}} + 10\lg n_1, \quad (3.10)$$

где $\Delta L_{\text{тр }j}$ — требуемое снижение шума, создаваемое в расчетной точке j-м источником, дБ;

L_j — уровень звукового давления, дБ, создаваемый в расчетной точке j-м источником;

$L_{\text{доп}}$ — допустимый уровень звукового давления на защищаемом объекте в рассматриваемой октавной полосе, дБ;

n_1 — число источников шума в определенной выше подгруппе.

Для каждого источника шума второй подгруппы расчет требуемого снижения шума выполняется по формуле

$$\Delta L_{\text{тр }j} = L_j - L_{\text{доп}} + 10\lg(n - n_1) + 5, \quad (3.11)$$

где n — общее число принимаемых в расчет источников шума.

В n не следует включать источники шума, создающие в расчетной точке уровни звукового давления ниже допустимых на величину ΔL_0, которая определяется по формуле

$$\Delta L_0 = 10\lg m_n + 5, \qquad (3.12)$$

где m_n — число источников шума, уровни звукового давления которых, по крайней мере, на 10 дБ меньше $L_{доп}$.

3.1.9 Расчетные точки рекомендуется располагать на кратчайшем расстоянии от наиболее интенсивных источников шума на объекте метрополитена, в наиболее характерных местах: для зданий и сооружений в 2 м от наружных ограждающих стен на высоте 1,5 м от пола первого и последнего этажа; для территорий не менее чем в 2 м от стен окружающих зданий и сооружений на высоте 1,5 м от поверхности земли; для помещений в 2 м от окна на высоте 1,5 м от поверхности пола.

3.1.10 Оценка уровней шума в расчетных точках должна выполняться для дневного и ночного периода суток (с 7 до 23 ч и с 23 до 7 ч [1]) и учитывать максимальную интенсивность уровня звука источника в течение получасового периода времени. Оценку зашумленности зданий и территорий от источников шума на объектах метрополитена для дневного периода суток рекомендуется выполнять для условий наиболее интенсивной работы оборудования (например, при движении поездов метро в «час пик»). Оценку уровня звука в помещениях, обеспеченных приводной вентиляцией, необходимо выполнять с учетом звукоизоляции закрытого окна. В остальных случаях рекомендуется учитывать звукоизоляцию открытой форточки, створки или фрамуги, которую для оценок принимают равной 10 дБ.

3.1.11 Необходимые акустические расчеты и предложения по обеспечению допустимых уровней шума рекомендуется включать в состав проектной документации на всех основных стадиях проектирования.

3.2 Выбор расчетных точек

3.2.1 При выборе расчетных точек следует учитывать следующие данные:

- расстояние от защищаемых от шума объектов до границы территории объекта метрополитена;
- расположение наиболее интенсивных источников шума на территории объекта и фактор направленности их излучения;
- наличие экранирующих зданий и сооружений на пути распространения шума;
- назначение защищаемых от шума объектов.

3.2.2 В соответствии с вышеуказанными данными совокупность расчетных точек будет включать:

а) точку, привязанную к защищаемому от шума объекту, ближайшему к границе территории объекта метрополитена;

б) точки, привязанные к защищаемым от шума объектам, ближайшим к наиболее интенсивным, не экранируемым источникам шума;

в) точки, привязанные к ближайшим к объекту метрополитена, защищаемым от шума объектам, к которым предъявляются более жесткие требования на допустимый уровень шума, чем выбранные в соответствии с рекомендациями а), б).

3.2.3 Для оценки допускается выбирать расчетные точки на территории застройки в 2 м от фасадов выбранных объектов защиты от шума на уровнях первого и последнего этажей.

3.3 Расчет ожидаемых уровней шума от стационарных объектов

3.3.1 Исходные данные

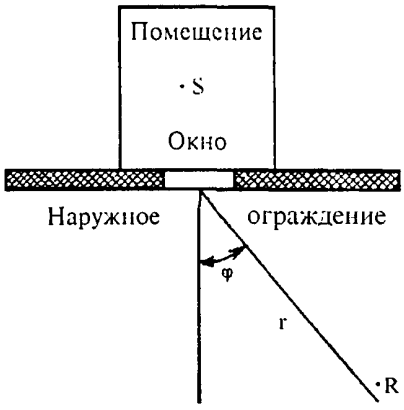
3.3.1.1 Для расчета ожидаемых уровней шума в расчетных точках необходимы следующие исходные материалы:

а) ситуационный план территории объекта метрополитена со всеми зданиями и сооружениями и прилегающей застройкой;

б) спецификация оборудования и его параметры, необходимые для акустических расчетов:

- для технологического оборудования — тип и значения уровней излучаемой звуковой мощности или экспериментальные значения уровней звукового давления в октавных полосах частот;
- для вентиляционного оборудования — номер вентилятора, его к.п.д., частота вращения рабочего колеса и его диаметр в процентах от номинального, расход воздуха и напор его потока; для крышных вентиляторов — окружная скорость и диаметр рабочего колеса; для вытяжных вентсистем — общая длина воздуховода от вентилятора до выбросного отверстия, размеры его поперечного сечения (диаметр), количество и характер поворотов и расширений;
- для источников непостоянного шума, функционирующих на территории объекта метрополитена вне укрытий, — эквивалентные и максимальные уровни звуковой мощности;

в) местоположение установки шумного оборудования и наружных отверстий вентсистем и углы между нормалями к наружным ограждениям, за которыми находится это обору-



S — источник шума; *R* — расчетная точка

Рисунок 3.1 — Схема для определения угла φ между нормалью к наружному ограждению и направлением в расчетную точку

дование (нормалями к наружным отверстиям вентсистем), и направлениями в расчетную точку (рисунок 3.1);

г) высота и ширина экранирующих зданий и сооружений — для оценки величины снижения уровней звука за счет экранирования;

д) характер и периоды работы шумного оборудования.

3.3.2 Этапы расчета

3.3.2.1 Акустический расчет состоит из следующих основных этапов:

а) выявление источников шума и предварительное ранжирование их по уровню излучаемой звуковой мощности;

б) выбор расчетных точек;

г) определение уровней шума в расчетных точках;

д) определение требуемого снижения уровней шума в расчетных точках.

3.3.3 Расчет уровней звукового давления

3.3.3.1 Уровень звукового давления в октавных полосах частот в расчетной точке на территории застройки при источнике шума, расположенном открыто, определяют по формуле

$$L_i = L_{Wi} + 10\lg\Phi_i - 10\lg\Omega - \Delta L_i, \quad (3.13)$$

где L_{Wi} — уровень звуковой мощности источника шума в *i*-й октавной полосе частот, дБ;

Φ_i — фактор направленности источника шума в *i*-й октавной полосе частот. Для ненаправленных источников Ф = 1;

Ω — пространственный угол излучения звука, принимаемый от источников, расположенных в открытом пространстве, — Ω = 4π, на поверхности грунта или ограждающих конструкций зданий и сооружений — Ω = 2π, в двухгранном угле, образованном ограждающими конструкциями зданий и сооружений и поверхностью грунта, — Ω = π, в трехгранном угле, образованном этими же поверхностями, — Ω = π/2;

ΔL_i — снижение уровня звукового давления, дБ, в *i*-й октавной полосе частот на пути распространения звука от источника шума до расчетной точки.

Порядок определения значений шумовых характеристик источников шума установлен в 3.3.4.

В общем случае ΔL_i учитывает различные факторы, влияющие на интенсивность звука, и рассчитывается по формуле

$$\Delta L_i = \Delta L_{\text{рас}\,i} + \Delta L_{\text{атм}\,i} + \Delta L_{\text{гр}\,i} + \Delta L_{\text{экр}\,i} + \Delta L_{\text{доп}\,i}, \quad (3.14)$$

$\Delta L_{\text{рас}\,i}$ — снижение уровня звукового давления в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой, связанное с расхождением звуковой волны в пространстве, дБ;

$\Delta L_{\text{атм}\,i}$ — снижение уровня звукового давления, связанное с поглощением звука в атмосфере, дБ;

$\Delta L_{\text{гр}\,i}$ — снижение уровня звукового давления, вызываемое влиянием грунта, дБ;

$\Delta L_{\text{экр}\,i}$ — снижение уровня звукового давления экранами, дБ;

$\Delta L_{\text{доп}\,i}$ — снижение уровня звукового давления за счет дополнительных факторов, которые могут включать в себя: $\Delta L_{\text{отр}}$ — отражение звука от зданий; $\Delta L_{\text{зел}}$ — снижение полосами зеленых насаждений; ΔL_{α_i} — снижение вследствие ограничения угла видимости объекта из расчетной точки и т.п.

Порядок расчета слагаемых в формуле (3.14) рассмотрен в разделах 3.3.5—3.3.9.

Примечания

1 Значения слагаемых в формуле (3.14) для локальных источников шума определяют в соответствии с методами СНиП 23-03, ИСО 9613-1 [2], ИСО 9613-2 [3], руководств [4], [5] и Рекомендаций [6].

2 Каждое слагаемое должно рассчитываться в отдельности и таким образом, как будто остальные составляющие отсутствуют.

3 Слагаемые в формуле (3.14) являются положительными, если они приводят к снижению уровня звукового давления. В том случае, если уровень звукового давления увеличивается, то слагаемое должно иметь отрицательный знак.

3.3.3.2 Для источников шума, расположенных в помещениях, уровень звукового давления L_i в октавных полосах частот в расчетной точке определяют по формуле (3.13). При этом необходимо заменить в ней уровень звуковой мощности L_{Wi} на уровень звуковой мощности $L_{W\text{пр}i}$ в i-й октавной полосе частот шума, прошедшего через наружные ограждения помещения с источниками шума (определяется по 3.3.4.3).

Вычисление значения $10\lg\Phi_i$ — зависимости от угла φ между нормалью к наружному ограждению помещения с источниками шума и направлением в расчетную точку, необходимо производить с помощью таблицы 3.2.

Таблица 3.2 — **Зависимость фактора направленности от угла φ**

φ, град.	0	45	90	135	180
10lg Ф, дБ	0	-2	-5	-10	-15

Снижения уровня звукового давления $\Delta L_{\text{рас}}$, $\Delta L_{\text{атм}}$, $\Delta L_{\text{гр}}$, $\Delta L_{\text{экр}}$ и $\Delta L_{\text{доп}}$ на пути распространения звука от наружных поверхностей помещения определяют по соответствующим формулам подразделов 3.3.5—3.3.9. При этом расстояния отсчитывают от наружных поверхностей помещений, а высота источника шума h_s берется на уровне середины элемента ограждения помещения с наименьшей звукоизоляцией (окна, открытой форточки, фрамуги или створки окна).

При отсутствии на пути распространения звука преград в виде экранов или полос зеленых насаждений принимают $\Delta L_{\text{экр}} = 0$ и $\Delta L_{\text{зел}} = 0$.

3.3.3.3 Если источником шума является воздухозаборное или выбросное отверстие систем, использующих вентиляторы или компрессоры, ожидаемые уровни звукового давления в расчетных точках следует определять по формуле

$$L_i = L_{Wi} - \Delta L_{Wi\,\text{сети}} + \Delta L_{\text{н}} - \Delta L_i, \quad (3.15)$$

где L_{Wi} — уровень звуковой мощности вентилятора в i-й октавной полосе, дБ, определяемый по 3.3.4.4;

$\Delta L_{Wi\,\text{сети}}$ — суммарное снижение уровня звуковой мощности по пути распространения звука в воздуховоде в i-й октавной полосе, дБ, определяемое по 3.3.4.5;

$\Delta L_{\text{н}}$ — показатель направленности излучения звука, дБ, определяемый по рисунку 3.2;

ΔL_i — снижение уровня звукового давления, дБ, в i-й октавной полосе частот на пути распространения звука от источника шума до расчетной точки согласно формуле (3.14).

3.3.3.4 При необходимости, уровни звукового давления в защищаемом от шума помещении определяются по формуле

$$L_{ni} = L_i - \Delta L_{ni}, \quad (3.16)$$

где L_i — уровень звукового давления, дБ, в i-й октавной полосе снаружи у ограждения защищаемого от шума помещения, определяемый по формуле (3.13);

ΔL_{ni} — снижение уровня звукового давления, дБ, при прохождении через наружное ограждение защищаемого от шума помещения, определяемое по формуле (3.20) путем подстановки в нее значений параметров, соответствующих рассматриваемому ограждению.

3.3.4 Шумовые характеристики источников шума

3.3.4.1 Значения уровня звуковой мощности L_W и показателя направленности Ф в октавных полосах частот принимают по данным, приводимым в сопроводительной технической документации на источник шума. При отсутствии значений Ф в документации принимают Ф = 1.

3.3.4.2 Для источников непостоянного шума в качестве L_W принимают эквивалентный $L_{W\text{экв}}$ и максимальный $L_{W\max}$ уровни звуковой мощности.

3.3.4.3 Уровень звуковой мощности $L_{W\text{пр}i}$ шума, прошедшего через наружные ограждения помещения, рассчитывается по формуле

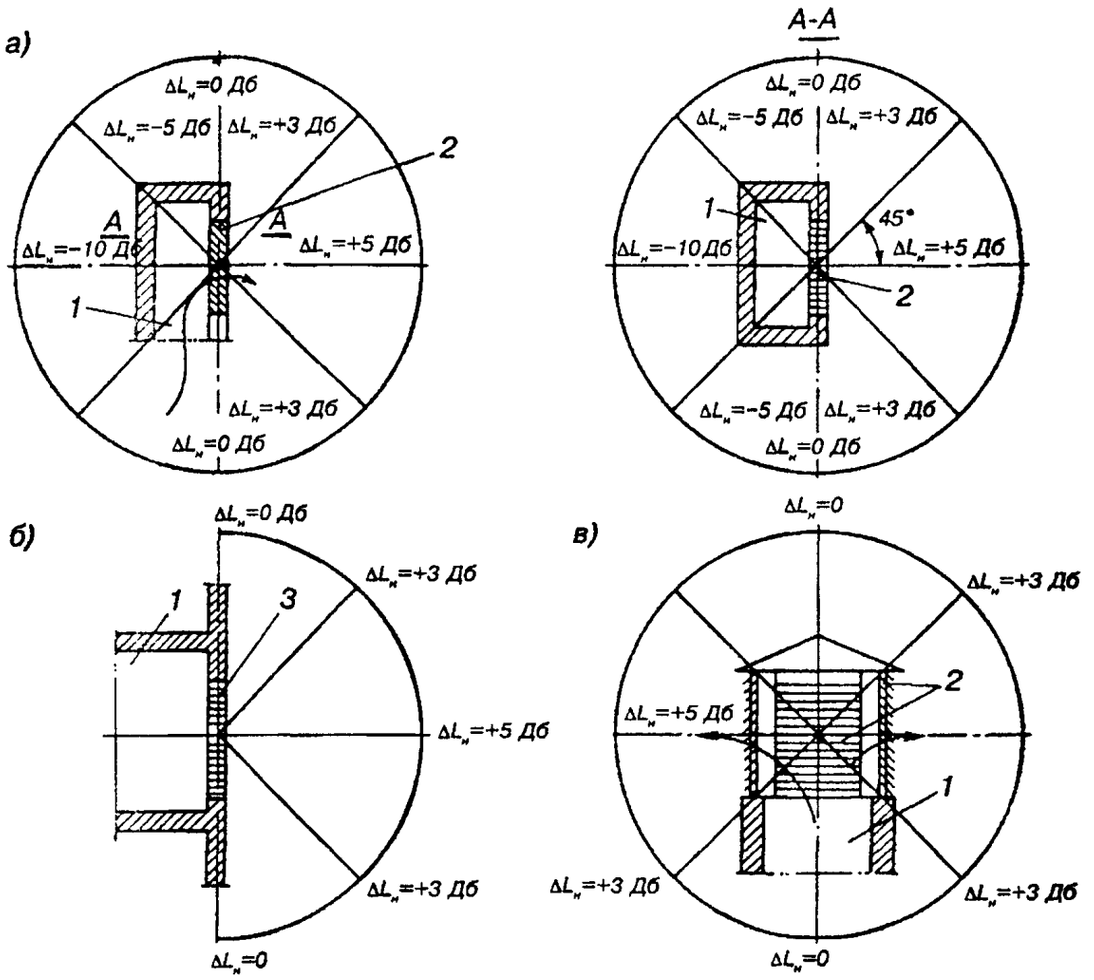
$$L_{W\text{пр}\,i} = L_{\text{вн}\,i} + 10\lg\frac{S_{\text{ог}}}{S_0} - \Delta L_i - 6, \quad (3.17)$$

где $L_{\text{вн}\,i}$ — уровень звукового давления в i-й октавной полосе у наружного ограждения внутри помещения с источниками шума, дБ;

$S_{\text{ог}}$ — площадь наружного ограждения, м^2;

$S_0 = 1$ м^2;

ΔL_i — снижение уровня звукового давления при прохождении звука через наружное ограждение, дБ.



а — всасывание или выпуск в одну сторону через жалюзи; *б* — то же, через решетку;
в — равномерный выпуск во все стороны через жалюзи;
1 — шахта или канал; *2* — жалюзи; *3* — решетка

Рисунок 3.2 — Показатель направленности излучения шума вентиляционных систем при выходе его в атмосферу

Значения $L_{вн\,i}$ определяют по формуле

$$L_{вн\,i} = 10\lg\sum_{k=1}^{n_п} 10^{0,1L_{Wki}} - 10\lg B_i + 6, \quad (3.18)$$

где L_{Wki} — уровень звуковой мощности k-го источника шума в i-й октавной полосе, дБ;

$n_п$ — число источников шума в помещении;

B_i — постоянная помещения в i-й октавной полосе, м^2.

Значение постоянной помещения B_i определяют по формуле

$$B_i = B_{1000}\,\mu_i, \quad (3.19)$$

где B_{1000} — постоянная помещения в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц, м^2, определяемая по таблице 3.3 в зависимости от объема V, м^3, и типа помещения;

μ_i — частотный множитель, определяемый по таблице 3.4.

Таблица 3.3 — **Постоянная помещения B_{1000}**

Тип помещения	Описание	B_{1000}
1	Металлообрабатывающие мастерские, вентиляционные камеры, генераторные залы и т.п.	$V/20$
2	Лаборатории, деревообрабатывающие мастерские и т.п.	$V/10$

Таблица 3.4 — **Частотный множитель μ_i**

Объем помещения V, м^3	Частотный множитель μ_i для среднегеометрических частот октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Меньше 20	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
200—1000	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
Больше 1000	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

Примечание — Если длина помещения более чем в 5 раз превышает его ширину или высоту, постоянную помещения B_{1000} рекомендуется определять по таблице 3.3 в зависимости от величины воображаемого объема V', определяемого по формуле

$$V' = \begin{cases} 5h^2b & \text{при } b \le 5h; \\ 25h^3 & \text{при } b > 5h, \end{cases} \quad (3.20)$$

где h — меньший размер помещения, м;

b — второй по величине размер помещения, м.

Снижение уровня звукового давления при прохождении звука через наружное ограждение определяют по формуле

$$\Delta L_i = -10 \lg \times \left(\frac{S_{ок} \cdot 10^{-0,1R_{окi}} + S_ф + S_{дв} \cdot 10^{-0,1R_{двi}} + S_{ст} \cdot 10^{-0,1R_{стi}}}{S_1} \right), \quad (3.21)$$

где $S_{ок}$, $R_{окi}$ — площадь, м^2, и звукоизолирующая способность, дБ, окон в i-й октавной полосе;

$S_{дв}$, $R_{двi}$ — то же, дверей;

$S_{ст}$, $R_{стi}$ — то же, сплошной части наружного ограждения (стены);

$S_ф$ — площадь открытой части форточки (фрамуги);

$S_1 = 1$ м^2.

Примечание — При выполнении наружных ограждений из традиционных строительных материалов (кирпич, бетон и т.п. материалов, применяемых для отапливаемых помещений) ΔL_i допускается определять по формуле (3.21) без учета члена $S_{ст} \cdot 10^{-0,1R_{ст}}$.

3.3.4.4 Значения уровня звуковой мощности L_{Wi}, дБ, излучаемой вентилятором, рассчитывают по формулам:

а) при излучении в воздуховод:

$$L_{Wi} = \tilde{L} + 20 \lg P_V + 10 \lg Q - \Delta L_{1i} + \delta + \Delta L_{2i}; \quad (3.22)$$

б) при излучении открытым патрубком:

$$L_{Wi} = \tilde{L} + 20 \lg P_V + 10 \lg Q - \Delta L_{1i} + \delta + \Delta L_{3i}; \quad (3.23)$$

в) при излучении через стенки корпуса вентилятора:

$$L_{Wi} = \tilde{L} + 20 \lg P_V + 10 \lg Q - \Delta L_{1i} + \delta, \quad (3.24)$$

где $\tilde{L}$ — критерий шумности, дБ, определяемый в зависимости от типа и конструкции вентилятора по таблице 3.5;

ΔL_{1i} — поправка, дБ, учитывающая распределение L_{Wi} по октавным полосам частот, дБ, определяемая в зависимости от типа и частоты вращения рабочего колеса вентилятора по таблице 3.6;

ΔL_{2i} — частотная поправка, дБ, учитывающая акустическое влияние присоединения воздуховода к вентилятору, определяемая по таблице 3.7;

ΔL_{3i} — частотная поправка, дБ, учитывающая влияние отражения звука от открытого конца патрубка вентилятора, определяемая по таблице 3.8;

P_V — полное давление (напор), создаваемое вентилятором, кгс/м^2;

Q — объемный расход воздуха вентилятора, м^3/с;

δ — поправка на режим работы вентилятора, дБ, в зависимости от КПД вентилятора, определяемая по таблице 3.9.

Примечание — При отсутствии данных о P_V и Q допускается значения L_{Wi} принимать по таблицам шумовых характеристик вентиляторов, например по каталогам [7].

Значения уровня звуковой мощности L_{Wi} крышного вентилятора, дБ, рассчитывают по формулам:

а) при излучении открытым патрубком или через стенки корпуса:

$$L_{Wi} = \bar{L} + 50 \lg u + 20 \lg D - \Delta L_{1i}; \quad (3.25)$$

б) при излучении в воздуховод:

$$L_{Wi} = \bar{L} + 50 \lg u + 20 \lg D - \Delta L_{1i} + \Delta L_{2i}, \quad (3.26)$$

где $\bar{L}$ — отвлеченный уровень, дБ, определяемый в зависимости от типа и конструкции вентилятора по таблице 3.10;

Таблица 3.5 — **Критерий шумности $\tilde{L}$**

Вентилятор			Критерий шумности $\tilde{L}$, дБ, для сторон		
Тип	№	Диаметр рабочего колеса, % от $D_н$*	Нагнетания	Всасывания	Вокруг вентилятора
Радиальный					
Ц4-70	2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5 105	90—100 105	53 56	50 52	51,5 54В
Ц4-76	8; 10; 12; 16; 20	100	50	47	48,5
Ц14-46	2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8	100	54	51	52,5
ВВД	8; 9; 11	100	60	52	56
Ц10-28	2,5; 3,2; 4; 5	100	58	53	55,5
ЦП7-40	5; 6; 8	100	58	53	55,5
Осевой					
06-300	5; 6,3; 8; 10; 12,5	100	52	52	52

*$D_н$ — номинальный диаметр рабочего колеса вентилятора.

Таблица 3.6 — **Поправка ΔL_{1i}**

Вентилятор		Поправка ΔL_{1i}, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
Номер и тип	Частота вращения, об/мин	63	125	250	600	1000	2000	4000	8000
Радиальный Ц4-70 № 2,5; 3,2; 4	930—1120	6	5	7	13	14	20	25	31
	1370—1700	6	5	5	10	14	17	22	27
	2800—3360	7	7	6	6	11	15	18	23
Ц4-70: № 5; 6,3; 8; 10; 12,5 Ц4-76	350—450	4	6	9	12	16	23	30	38
	460—600	5	5	8	11	15	20	27	34
	635—800	5	4	7	10	15	18	24	30
	850—1000	6	5	5	9	11	16	22	28
	1015—1290	6	5	4	8	11	15	19	27
	1300—1620	7	6	5	8	11	15	19	25
Ц14-46	720	8	6	5	6	14	18	22	27
	915—985	9	7	6	5	13	17	21	25
	1360—1455	10	8	6	5	7	14	18	23
	2815—2900	12	10	8	6	5	7	14	18
Ц10-28	2810—2940	12	4	11	8	9	10	14	18
ЦП7-40	600—700	4	6	9	13	17	21	26	31
	800—1400	6	6	6	9	13	17	21	26
	1410—2600	9	6	6	6	9	13	17	21

Окончание таблицы 3.6

Вентилятор		Поправка ΔL_{1i}, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
Номер и тип	Частота вращения, об/мин	63	125	250	600	1000	2000	4000	8000
ВВД	600—700	4	6	9	13	17	21	26	31
	800—1400	6	6	6	9	13	17	21	26
	1410—1900	9	6	6	6	9	13	17	21
Осевой 06-300	700—1400	13	8	8	5	7	9	15	23
	1410—2800	18	13	8	8	5	7	9	15
	2810—2850	23	18	13	8	8	5	7	9

Таблица 3.7 — **Поправка ΔL_{2i}**

$Д_{возд}$ или $\sqrt{S}$, мм	Снижение октавных уровней звуковой мощности ΔL_{2i}, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
25	24	22	19	15	10	6	2	0
50	22	19	15	10	5	2	0	0
80	20	16	11	7	3	0	0	0
100	19	14	10	5	2	0	0	0
125	18	13	8	4	1	0	0	0
140	16	12	8	4	1	0	0	0
160	16	11	7	3	0	0	0	0
180	15	11	6	2	0	0	0	0
200	14	10	6	2	0	0	0	0
225	14	9	5	1	0	0	0	0
250	13	8	4	1	0	0	0	0
280	12	8	3	1	0	0	0	0
315	11	7	3	0	0	0	0	0
350	11	6	2	0	0	0	0	0
400	10	5	2	0	0	0	0	0
450	8	5	1	0	0	0	0	0
500	8	4	1	0	0	0	0	0
560	8	3	1	0	0	0	0	0
630	7	3	1	0	0	0	0	0
710	6	2	0	0	0	0	0	0
800	5	2	0	0	0	0	0	0
900	5	2	0	0	0	0	0	0
1000	4	1	0	0	0	0	0	0
1250	3	0	0	0	0	0	0	0
1400	2	0	0	0	0	0	0	0
1600	2	0	0	0	0	0	0	0
2000	1	0	0	0	0	0	0	0
2500	0	0	0	0	0	0	0	

Примечание — $Д_{возд}$ — диаметр воздуховода; S — площадь поперечного сечения конца прямоугольного воздуховода или решетки.

Таблица 3.8 — **Поправка ΔL_{3i}**

Диаметр или размер стороны патрубка вентилятора, мм	Частотная поправка ΔL_{3i}, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
200	4	3	2	1	1	0	0	0
225	3	3	2	1	0	0	0	0
250	3	3	2	1	0	0	0	0
280	4	3	2	1	0	0	0	0
315	3	3	1	1	0	0	0	0
350	3	2	2	1	0	0	0	0
400	2	3	1	0	0	0	0	0
450	4	1	1	0	0	0	0	0
500	3	2	1	0	0	0	0	0
560	2	3	1	0	0	0	0	0
630	3	2	0	0	0	0	0	0
710	2	2	1	0	0	0	0	0
800	3	1	1	0	0	0	0	0
900	2	1	0	0	0	0	0	0
1000	2	1	0	0	0	0	0	0
1250	1	1	0	0	0	0	0	0
1400	2	1	0	0	0	0	0	0
1600	1	0	0	0	0	0	0	0
2000	1	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3.9 — **Поправка δ**

КПД	η_{max}	$(0,91—0,99)\eta_{max}$	$(0.8—0,90)\eta_{max}$	$< 0,8\eta_{max}$
δ	0	2	4	5

Таблица 3.10 — **Отвлеченный уровень $\bar{L}$**

Вентилятор	Отвлеченный уровень $\bar{L}$, дБ, для сторон	
	нагнетания	всасывания
Радиальный (центробежный) КЦ4-84, КЦ3-90	28	23
Осевой	19	19

u — окружная скорость рабочего колеса, м/с;

D — диаметр рабочего колеса, м;

ΔL_{1i} — поправка, дБ, учитывающая распределение L_{Wi} по октавным полосам частот, дБ, определяемая в зависимости от типа и частоты вращения рабочего колеса вентилятора по таблице 3.11;

ΔL_{2i} — частотная поправка, дБ, учитывающая акустическое влияние присоединения воздуховода к вентилятору, определяемая по таблице 3.7.

3.3.4.5 Суммарное снижение уровня звуковой мощности $L_{Wi\ сети}$ по пути распространения звука в воздуховоде в i-й октавной полосе определяют по формуле

$$\Delta L_{Wi\,сети} = \sum_{k=1}^{n_c} \Delta L_{Wi}^{(k)}, \qquad (3.27)$$

где $\Delta L_{Wi}^{(k)}$ — снижение уровней звуковой мощности вентилятора в k-м элементе воздуховода в i-й октавной полосе, дБ;

n_c — число элементов сети воздуховода от вентилятора до наружного отверстия.

Таблица 3.11 — **Поправка ΔL_{1i} к формулам (3.25), (3.26)**

Вентилятор		Поправка ΔL_{1i}, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
Тип	Частота вращения, об/мин	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Радиальный:									
КЦ3-90	400—480	5	4	8	10	16	23	28	33
КЦ4-84	570	7	4	6	9	15	21	26	31
	920—950	11	5	4	8	10	16	23	28
Осевой	720—920	7	6	6	9	12	16	21	29
	1370—1400	9	7	6	6	9	13	17	23

Снижение уровней звуковой мощности $\Delta L_{Wi}^{(1)}$, дБ, на 1 м длины в прямых участках металлических воздуховодов прямоугольного или круглого сечения следует принимать по таблице 3.12. Снижение уровней звуковой мощности $\Delta L_{Wi}^{(2)}$, дБ, в прямоугольных необлицованных и облицованных поворотах воздуховодов определяют по таблице 3.13. При угле поворота, меньшем 45°, снижение уровней звуковой мощности не учитывают. Для плавных поворотов и прямых колен с направляющими лопатками снижение уровней звуковой мощности указано в таблице 3.14.

Таблица 3.12 — **Снижение уровней звуковой мощности $\Delta L_{Wi}^{(1)}$**

Поперечное сечение воздуховода	Гидравлический диаметр $D_г$, мм	Снижение уровня звуковой мощности, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Прямоугольное	75—200	0,6	0,6	0,45	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	210—400	0,6	0,6	0,45	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
	410—800	0,6	0,6	0,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	810—1600	0,45	0,3	0,15	0,1	0,06	0,06	0,06	0,06
Круглое	75—200	0,1	0,1	0,15	0,15	0,3	0,3	0,3	0,3
	210—400	0,06	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2
	410—800	0,03	0,06	0,06	0,1	0,15	0,15	0,15	0,15
	810—1600	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Примечания

1 При наличии теплоизоляции на металлических воздуховодах данные таблицы 3.12 следует увеличить в 2 раза.

2 Снижением уровней звуковой мощности $\Delta L_{Wi}^{(3)}$ на прямых участках кирпичных и бетонных каналов можно пренебречь.

3 $D_г = 4F/П$, где F — площадь поперечного сечения, мм^2; $П$ — периметр сечения, мм.

Таблица 3.13 — **Снижение уровней звуковой мощности $\Delta L_{Wi}^{(2)}$ в прямоугольных поворотах**

Место облицовки и ширина поворота	Снижение уровня звуковой мощности, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
D, мм	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Без облицовки:								
125	0	0	0	1	5	7	5	3
250	0	0	1	5	7	5	3	3
500	0	1	5	7	5	3	3	3
1000	1	5	7	5	3	3	3	3
2000	5	7	5	3	3	3	3	3

Окончание таблицы 3.13

Место облицовки и ширина поворота	Снижение уровня звуковой мощности, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
D, мм	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
До поворота:								
125	0	0	0	1	5	8	6	8
250	0	0	1	5	8	6	8	11
5000	0	1	5	8	6	8	11	11
1000	1	5	8	6	8	11	11	11
После поворота:								
125	0	0	0	1	6	11	10	10
250	0	0	1	6	11	10	10	10
500	0	1	6	11	10	10	10	10
1000	1	6	11	10	10	10	10	10
2000	6	11	10	10	10	10	10	10
До и после поворота:								
125	0	0	0	1	6	12	14	16
250	0	0	1	6	12	14	16	18
500	0	1	6	12	14	16	18	18
1000	1	6	12	14	16	18	18	18

Примечание — Данные справедливы, если длина облицованного участка составляет не менее $2D$, а толщина облицовки b равна 10 % ширины D. Для облицовок меньшей толщины длину облицованного участка следует пропорционально увеличивать.

Таблица 3.14 — **Снижение уровней звуковой мощности $\Delta L_{Wi}^{(2)}$ для плавных поворотов и прямых колен**

Ширина поворота *D*, мм	Снижение уровня звуковой мощности, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
125—250	0	0	0	0	1	2	3	3
260—500	0	0	0	1	2	3	3	3
510—1000	0	0	1	2	3	3	3	3
1100—2000	0	2	2	3	3	3	3	3

Снижение уровней звуковой мощности $\Delta L_{Wi}^{(3)}$, дБ, при изменении поперечного сечения воздуховода следует определять:

а) при размерах поперечного сечения воздуховода, мм, меньших указанных в таблице 3.15, — по формуле

$$\Delta L_{Wi}^{(3)} = 10 \lg \frac{(m_п + 1)^2}{A m_п}, \qquad (3.28)$$

где $m_п$ — отношение площадей поперечных сечений воздуховода, равное:

$$m_п = \frac{F_1}{F_2}; \qquad (3.29)$$

F_1 и F_2 — площади поперечного сечения воздуховода до и после изменения сечения по пути распространения звука, м^2;

б) при размерах поперечного сечения воздуховода, мм, равных или больших указанных в таблице 3.15, — по формулам:

$$\Delta L_{Wi}^{(3)} = 10 \lg m_п \quad \text{при} \quad m_п > 1;$$
$$\Delta L_{Wi}^{(3)} = 0 \quad \text{при} \quad m_п < 1. \qquad (3.30)$$

Таблица 3.15 — **К расчету по формулам (3.28), (3.30)**

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	Меньший размер первого по ходу звука поперечного сечения воздуховода, мм
63	5000
125	2500
250	1400
500	700
1000	400
2000	200
4000	100
8000	50

При плавном переходе воздуховода от одного сечения к другому снижение уровней звуковой мощности не учитывают.

Снижение уровней звуковой мощности в сетчатых фильтрах не учитывают.

Снижение уровней звуковой мощности в калориферах и воздухоохладителях следует принимать равным 1,5 дБ.

Суммарное снижение уровней звуковой мощности в секциях центральных кондиционеров или типовых приточных камер можно принимать равным $\Delta L_{Wi} = 10$ дБ на всех частотах.

3.3.5 Снижение уровня шума с увеличением расстояния

3.3.5.1 В случае расположения источника шума в свободном пространстве поправка $\Delta L_{\text{рас } i}$ на снижение его уровня с расстоянием в i-й октавной полосе определяется по формуле

$$\Delta L_{\text{рас } i} = 20\lg(r/r_0), \qquad (3.31)$$

где r — расстояние между источником шума и приемной точкой, м;

$r_0 = 1$ м.

3.3.5.2 При расположении расчетной точки на территории достаточно плотной застройки из-за наличия большого числа отражений от соседних объектов и сооружений, значения $\Delta L_{\text{рас } i}$ следует определять по формуле

$$\Delta L_{\text{рас } i} = 15\lg(r/r_0), \qquad (3.32)$$

где обозначения те же, что в формуле (3.31).

3.3.6 Снижение уровня звукового давления за счет поглощения звука в воздухе

3.3.6.1 Снижение уровня звукового давления вследствие поглощения звука в воздухе следует определять по формуле [3], [12]

$$\Delta L_{\text{атм}} = 0{,}001\alpha_{\text{воз}} r_{sr}, \qquad (3.33)$$

где $\alpha_{\text{воз}}$ — коэффициент поглощения звука в воздухе, дБ/км;

r_{sr} — расстояние между источником шума и расчетной точкой, м.

Коэффициент поглощения звука в воздухе сильно зависит от частоты звука и относительной влажности атмосферного воздуха. В меньшей степени он зависит от температуры, а также от давления, зависимость от которого становится заметной лишь на больших высотах – более 1000 м. От состояния погоды коэффициент поглощения в воздухе практически не зависит. Зависимость коэффициента $\alpha_{\text{воз}}$ от температуры и влажности воздуха приведена в таблице 3.16 [2]. Для промежуточных значений параметров коэффициент поглощения может быть найден с помощью интерполяции табличных данных или принят по ИСО 9613-1 [2].

Таблица 3.16 — **Коэффициент поглощения звука в воздухе $\alpha_{\text{воз}}$**

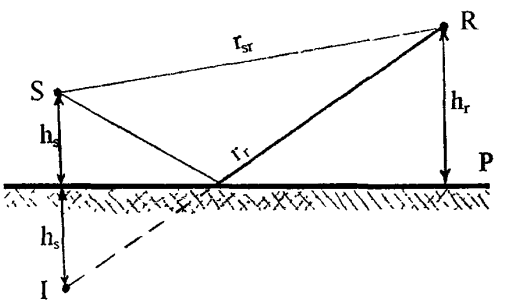
Температура	Относительная влажность, %	Частота, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0 °С	10	0,424	1,30	4,00	9,25	14,0	166	19,0	26,4
	20	0,256	0,614	1,85	6,16	17,7	34,6	47,0	58,1
	30	0,219	0,469	1,17	3,73	12,7	36,0	69,0	95,2
	40	0,198	0,427	0.922	2,63	9,00	29,8	75,2	127
	50	0,181	0,411	0,821	2,08	6,83	23,8	71,0	147
	60	0,165	0,401	0,779	1,78	5,50	19,3	63,3	154
	70	0,151	0,390	0,763	1,61	4,64	16,1	55,5	153
	80	0,138	0,379	0,750	1,51	4,06	13,8	48,8	147
	90	0,127	0,367	0,760	1,45	3,66	12,1	43,2	138

Окончание таблицы 3.16

Температура	Относительная влажность, %	Частота, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10 °С	10	0,342	0,788	2,29	7,52	21,6	42,3	57,3	69,4
	20	0,271	0,579	1,20	3,27	11,0	36,2	91,5	154
	30	0,225	0,551	1,05	2,28	6,77	23,5	76,6	187
	40	0,188	0,522	1,04	1,98	5,07	16,8	59,0	177
	50	0,160	0,486	1,05	1,90	4,26	13,2	46,7	155
	60	0,139	0,447	1,05	1,90	3,86	11,0	38,4	134
	70	0,122	0,411	1,04	1,93	3,66	9,66	32,6	117
	80	0,108	0,379	1,02	1,97	3,57	8,76	28,7	103
	90	0,097	0,346	0,996	2,00	3,54	8,14	25,7	92,4
15 °С	10	0,353	0,735	1,78	5,58	18,4	49,3	87,3	114
	20	0,272	0,647	1,22	2,70	8,17	28,2	88,8	202
	30	0,212	0,601	1,21	2,23	5,45	17,7	62,0	190
	40	0,171	0,539	1,23	2,18	4,51	13,1	45,7	156
	50	0,142	0,479	1,22	2,24	4,16	10,8	36,2	129
	60	0,121	0,426	1,18	2,31	4,06	9,50	30,3	108
	70	0,105	0,381	1,13	2,36	4,08	8,75	26,4	93,7
	80	0,927	0,343	1,07	2,40	4,15	8,31	23,7	82,8
	90	0,831	0,312	1,02	2,41	4,25	8,07	21,7	74,6
20 °С	10	0,370	0,776	1,58	4,25	14,1	45,3	109	175
	20	0,260	0,712	1,39	2,60	6,53	21,5	74,1	215
	30	0,192	0,615	1,42	2,52	5,01	14,1	48,5	186
	40	0,150	0,521	1,39	2,63	4,65	11,2	36,1	128
	50	0,123	0,445	1,32	2,73	4,86	9,86	29,4	104
	60	0,104	0,386	1,23	2,79	4,80	9,25	25,4	87,8
	70	0,897	0,339	1,13	2,80	4,98	9,02	22,9	76,6
	80	0,790	0,302	1,04	2,77	5,15	8,98	21,3	68,6
	90	0,070	0,272	0,966	2,71	5,30	9,08	20,2	62,6
30 °С	10	0,362	0,958	1,82	3,40	8,67	28,5	96,0	260
	20	0,212	0,725	1,87	3,41	6,00	14,5	47,1	165
	30	0,147	0,543	1,68	3,67	6,15	11,9	32,7	113
	40	0,112	0,478	1,45	3,70	6,63	11,4	27,0	87,1
	50	0,091	0,351	1,25	3,57	7,03	11,7	24,5	73,1
	60	0,076	0,296	1,09	3,36	7,29	12,2	23,4	64,7
	70	0,065	0,256	0,963	3,14	7,41	12,7	23,1	59,3
	80	0,057	0,226	0,860	2,91	7,41	13,3	32,1	55,7
	90	0,051	0,202	0,775	2,71	7,32	13,8	23,5	53,3

3.3.7 Снижение уровня звукового давления за счет влияния подстилающей поверхности

3.3.7.1 При вычислении поправки $\Delta L_{гр}$, вызванной подстилающей поверхностью, необходимо вначале классифицировать ее относительно акустических свойств грунта. Расчет возможен только для поверхностей, расположенных под скользящим углом менее 20°, и с небольшими неровностями (рисунок 3.3). Этот случай охватывает большинство задач распространения звука в открытом пространстве.



r_{sr} — прямой луч звука; r_r — луч звука, отраженного от плоскости P

Рисунок 3.3 — Пути распространения звука от источника до приемника над поверхностью P

Различают следующие покрытия (поверхности):

1. Жесткая поверхность. Это асфальт, бетонное покрытие, вода и другие виды грунтового покрытия, имеющее малую пористость. Например, утрамбованный грунт, встречающийся наиболее часто вблизи промышленных площадок, может рассматриваться как твердое покрытие.

2. Мягкая поверхность. Это земля покрытая травой, с деревьями и другой растительностью, все виды пористого грунта, пригодные для роста растений, и, в частности, пахотная земля.

3. Очень мягкая поверхность. Сюда относятся очень пористые покрытия, такие, как поверхности, покрытые снегом, иголками хвойных деревьев и аналогичными веществами.

4. Смешанное покрытие. Это грунтовые поверхности, которые включают в себя области как с твердым, так и с мягким покрытием.

3.3.7.2 Снижение уровня звукового давления за счет подстилающей поверхности $\Delta L_{гр}$ следует определять следующим образом [3]. Вначале всю область, расположенную между источником и расчетной точкой, необходимо разделить согласно рисунку 3.4 на три части: область источника, область расчетной точки и промежуточная область. При этом каждой из областей приписывается определенное число G, называемое поверхностным фактором.

1. При максимальном расстоянии s_{sr} **область источника** простирается от источника звука по направлению к расчетной точке на расстояние, равное $30h_s$, где h_s — высота источника звука в метрах.

2. При максимальном расстоянии s_{sr} **область расчетной** точки простирается наоборот от расчетной точки по направлению к источнику звука на расстояние, равное $30h_r$, где h_r — высота расчетной точки в метрах.

3. **Промежуточная область** лежит между областью источника и областью расчетной точки. При условии $s_{sr} < 30(h_s + h_r)$ область источника и область расчетной точки перекрываются и промежуточной области не существует.

Расстояние s_{sr} представляет здесь проекцию расстояния r_{sr} между источником и расчетной точкой на плоскость P подстилающей поверхности. При этом поверхностный фактор G полагается равным нулю для жесткой поверхности, единице для мягкой поверхности и доле мягкой поверхности в общем балансе для смешанной поверхности. Для очень мягкой поверхности число G не определяется.

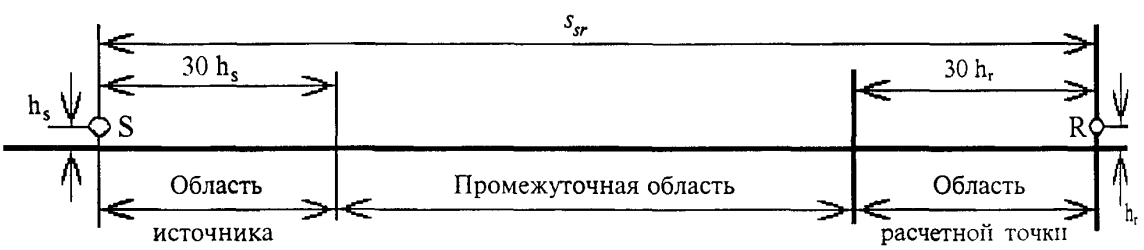


Рисунок 3.4 — Разделение области между источником звука и расчетной точкой на три части

Таблица 3.17 — **Коэффициенты A_s, A_r и A_m**

Средние октавные частоты, Гц	A_s, дБ	A_r, дБ	A_m, дБ
63	−1,5	−1,5	$-3q$
125	$(a_s \times G_s)-1,5$	$(a_r \times G_r)-1,5$	$-3q(1 - G_m)$
250	$(b_s \times G_s)-1,5$	$(b_r \times G_r)-1,5$	$-3q(1 - G_m)$
500	$(c_s \times G_s)-1,5$	$(c_r \times G_r)-1,5$	$-3q(1 - G_m)$
1000	$(d_s \times G_s)-1,5$	$(d_r \times G_r)-1,5$	$-3q(1 - G_m)$
2000	$(1 - G_s)-1,5$	$(1 - G_r)-1,5$	$-3q(1 - G_m)$
4000	$(1 - G_s)-1,5$	$(1 - G_r)-1,5$	$-3q(1 - G_m)$
8000	$(1 - G_s)-1,5$	$(1 - G_r)-1,5$	$-3q(1 - G_m)$

Далее расчет снижения уровня $\Delta L_{тр}$ должен производиться в каждом октавном диапазоне с помощью таблицы 3.17 в таком порядке:

вычислить компоненту поглощения A_s для области источника, используя соответствующий поверхностный фактор $G = G_s$;

вычислить компоненту поглощения A_r для области расчетной точки, используя соответствующий поверхностный фактор $G = G_r$;

если имеет место неравенство $s_{sr} > 30(h_s + h_r)$, вычислить компоненту поглощения A_m для промежуточной области, используя соответствующий поверхностный фактор $G = G_m$.

Рассчитать общее снижение уровня звукового давления вследствие влияния покрытия территории для каждого октавного диапазона по формуле

$$\Delta L_{тр} = A_s + A_r + A_m, \qquad (3.34)$$

где коэффициенты A_s, A_r, A_m определяются с помощью таблицы 3.17.

Коэффициенты a, b, c, d в таблице 3.17 являются в общем случае функциями высот и определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} &a_s = a(h_s),\ b_s = b(h_s),\ c_s = c(h_s),\ d_s = d(h_s);\\ &a_r = a(h_r),\ b_r = b(h_r),\ c_r = c(h_r),\ d_r = d(h_r). \end{aligned} \qquad (3.35)$$

При этом сами функции $a(h)$, $b(h)$, $c(h)$, $d(h)$ равны:

$$a(h) = 1,5 + 3e^{-0.12(h-5)^2}(1 - e^{-0,02s_{sr}}) + 5,7(1 - e^{-2,8\cdot10^{-6}\cdot s_{sr}^2}); \qquad (3.36)$$

$$b(h) = 1,5 + 8,6e^{-0,09h^2}(1 - e^{-0,02s_{sr}}); \qquad (3.37)$$

$$c(h) = 1,5 + 14,0e^{-0.46h^2}(1 - e^{-0,02s_{sr}}); \qquad (3.38)$$

$$d(h) = 1,5 + 5e^{-0.9h^2}(1 - e^{-0,02s_{sr}}). \qquad (3.39)$$

Примечания

1 При выполнении неравенства $s_{sr} \le 30(h_s + h_r)$ коэффициент q равен нулю, так что для промежуточной зоны оказывается $A_m = 0$.

2 При выполнении обратного неравенства $s_{sr} > 30 \times (h_s + h_r)$ коэффициент q для промежуточной зоны вычисляется с помощью следующего соотношения:

$$q = 1 - 30\frac{h_s + h_r}{s_{sr}}. \qquad (3.40)$$

3.3.7.3 Расчет снижения уровня звука за счет подстилающей поверхности $\Delta L_{тр}$ по точным формулам (3.34)—(3.40) возможен при любых расстояниях между источником шума и приемной точкой. Однако при условии $s_{sr} < 100$ м расчет может быть произведен по более простым приближенным формулам. Так, для акустически жесткого покрытия поправку $\Delta L_{тр}$ (дБ) можно определять согласно графику, представленному на рисунке 3.5 [12].

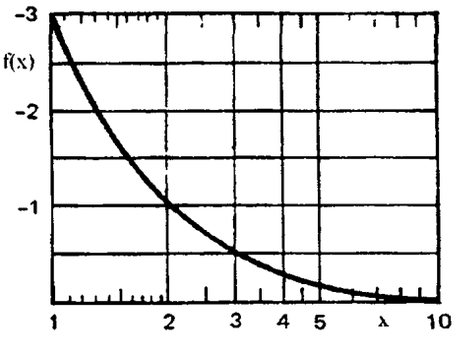


Рисунок 3.5 — Снижение уровня звука при его распространении над жесткой поверхностью

Здесь по оси абсцисс отложено отношение $x = r_r / r_{sr}$, а по оси ординат искомое снижение $\Delta L_{тр} = f(r_r / r_{st})$, дБ. График справедлив при условии, что разность длин отраженного и пря-

мого луча ($r_r - r_{sr}$) много больше всех длин волн λ, соответствующих частотам шумового спектра. При условии, что разность длин будет много меньше всех длин звуковых волн λ, искомую величину $\Delta L_{гр}$ можно положить равной −6,0 дБ. Кривую $f(x)$ рисунка 3.5 можно аппроксимировать с хорошей степенью точности в заданных пределах изменения аргумента выражением

$$f(x) = -\frac{1,516}{x} + \frac{0,746}{\sqrt{x}} - \frac{2/254}{\sqrt{x^3}}, \quad 1 \le x \le 10. \qquad (3.41)$$

Искомое затухание $\Delta L_{гр}$ рассчитывается для каждого октавного диапазона.

3.3.7.4 Снижение уровня звукового давления вследствие влияния акустически мягкого покрытия территории $\Delta L_{гр}$ (дБ) и при расстояниях r_{sr} меньше 100 м, можно определять согласно таблице 3.18.

3.3.7.5 Снижение уровня звукового давления вследствие влияния акустически очень мягкого покрытия территории $\Delta L_{гр}$ (дБ) и при расстояниях r_{sr} меньше 100 м, следует определять согласно таблице 3.19.

Примечания

1 Снижение уровня звукового давления при промежуточных параметрах задачи следует рассчитывать интерполяцией данных.

2 Расчет снижения уровня звукового давления с помощью таблицы 3.19 дает удовлетворительные результаты при толщине снежного покрова более 10 см [12]. При меньшей толщине покрова затухание в трех нижайших октавах оказывается на несколько децибел больше.

3.3.7.6 Снижение уровня звука вследствие влияния смешанного покрытия территории $\Delta L_{гр}$ (дБ) и при расстояниях r_{sr} меньше 100 м следует определять следующим образом. Вначале рассчитывается снижение уровня звука согласно п. 3.3.7.3, как будто бы между источником и расчетной точкой находилась только жесткая поверхность. Затем аналогичный расчет производится для мягкой поверхности по п. 3.3.7.4. Окончательный результат получается в виде суммы пропорций предварительных расчетов в соответствии с долями мягкой и жесткой поверхностей.

Таблица 3.18 — **Снижение уровня звукового давления $\Delta L_{гр}$ при мягком покрытии**

Мягкая поверхность (трава, растительность и т.п.), h_r = 1,8 м							
Высота источника, м	Расстояние $r_{гр}$, м	Частота, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
0,1	10	−5,7	−5,0	−3,6	−1,4	1,1	4,1
	20	−5,6	−4,6	−1,8	1,9	5,1	8,5
	40	−5,5	−3,9	−1,4	6,7	10,1	13,7
	60	−5,4	−3,3	4,2	9,8	13,2	16,9
	80	−5,4	−2,7	6,8	12,2	15,5	19,3
	100	−5,3	−2,2	9,2	14,0	17,4	21,1
0,3	10	−5,4	−4,3	−0,9	5,9	−2,5	−1,9
	20	−5,4	−4,0	−0,1	6,3	−0,1	−3,0
	40	−5,4	−3,4	2,9	10,2	4,1	−2,9
	60	−5,3	−2,8	5,8	13,1	7,1	−0,4
	80	−5,2	−2,2	8,4	15,3	9,3	1,7
	100	−5,2	−1,7	10,8	17,1	11,1	3,4
1,2	10	−4,0	2,0	0,1	−3,0	−3,0	−3,0
	20	−4,8	−1,9	7,5	−2,7	−3,0	−3,0
	40	−4,9	−2,1	6,9	0,5	−3,0	−3,0
	60	−4,9	−1,6	9,1	2,9	−3,0	−3,0
	80	−4,8	−1,0	11,6	4,8	−2,8	−3,0
	100	−4,8	−0,5	13,8	6,4	−1,5	−3,0

Таблица 3.18 — **Снижение уровня звукового давления $\Delta L_{гр}$ при очень мягком покрытии**

Очень мягкая поверхность (снег, хвоя и т.п.), h_r = 1,8 м							
Высота источника, м	Расстояние r_p, м	Частота, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
0,1	10	−3,1	0,8	3,9	6,0	7,3	7,0
	20	−1,5	5,2	8,6	10,9	12,3	11,9
	40	1,4	11,1	14,0	16,3	17,7	17,3
	60	3,9	14,8	17,3	19,6	21,0	20,7
	80	6,2	17,3	19,7	22,0	23,4	23,1
	100	8,4	19,3	21,6	23,8	25,3	24,9
0,3	10	−2,3	2,8	5,0	−0,8	−3,0	−3,0
	20	−0,8	7,0	9,1	2,9	−2,9	−3,0
	40	2,0	12,8	14,2	7,9	1,4	−3,0
	60	4,6	16,5	17,5	11,2	4,5	−1,3
	80	6,9	19,0	18,2	13,5	6,8	0,8
	100	9,1	21,0	21,7	15,4	8,6	2,6
1,2	10	0,1	4,5	−2,5	−2,5	−2,5	−2,5
	20	0,9	7,0	−0,7	−3,0	−3,0	−3,0
	40	3,6	11,6	3,3	−3,0	−3,0	−3,0
	60	6,3	14,8	6,3	−0,6	−3,0	−3,0
	80	8,7	17,1	8,5	−1,5	−3,0	−3,0
	100	10,9	18,9	10,3	3,2	−2,6	−3,0

3.3.7.7 Приближенный расчет снижения уровня звука вследствие влияния акустически мягкого и смешанного покрытия территории $\Delta L_{гр}$ (дБ), следует определять при условиях, оговоренных ниже, по формуле [3], [12]

$$\Delta L_{гр} = 4,8 - \frac{(h_s + h_r)}{r_{sr}}\left(17 + \frac{300}{r_{sr}}\right), \quad (3.42)$$

где h_s — высота источника, м;

h_r — высота приемной точки, м;

r_{sr} — расстояние от источника звука до приемника, м;

r_r — расстояние от мнимого изображения источника звука до приемника, м.

Примечания

1 Наибольший интерес представляет уровень звука с коррекцией А шума, который не должен быть чистым тоном. При этом спектр шума не содержит значительных дискретных составляющих.

2 Спектр шума практически широкий и гладкий. Для большинства шумовых источников, состоящих из множества разнообразных источников, практически это всегда имеет место. Например, таковыми являются шумы строительных площадок и транспортных потоков.

3 Отрицательные значения $\Delta L_{гр}$ игнорируются, и в этом случае полагают $\Delta L_{гр} = 0$.

4 Для коротких дистанций формула (3.42) предсказывает нулевой результат. В этом случае расчет надо производить по точным формулам (3.34)—(3.40).

3.3.7.8 Снижение уровня звукового давления вследствие влияния покрытия территории $\Delta L_{гр}$ при скользящих утлах более 30° следует определять с помощью процедуры, изложенной в подразделе 3.3.7.2, как для жесткой поверхности. При таких условиях, которые встречаются обычно на коротких дистанциях, мягкая и очень мягкая поверхности становятся очень хорошими отражателями звука.

3.3.8 Снижение уровня звукового давления экранами

3.3.8.1. При распространении звука через верхний край экрана (рисунок 3.6), а также по ветру снижение уровня звукового давления экраном $\Delta L_{экр}$ в октавных полосах частот рассчитывается с помощью следующей формулы [3], [12]:

$$\Delta L_{экр} = D_z. \quad (3.43)$$

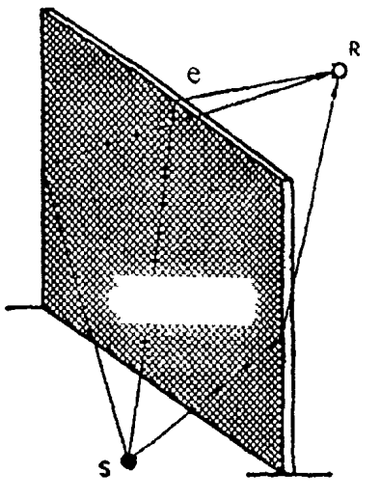


Рисунок 3.6 — Различные пути прохождения звука через экран

При дифракции звука на вертикальных ребрах экрана (см. рисунок 3.6) снижение уровня звукового давления экраном $\Delta L_{экр}$ рассчитывается с помощью формулы [3], [12]

$$\Delta L_{экр} = D_z > 0, \qquad (3.44)$$

где D_z — снижение уровня звукового давления экраном в каждом октавном диапазоне, дБ.

Примечания

1 Для очень больших расстояний и очень высоких экранов потери $\Delta L_{экр}$, рассчитанные по формуле (3.43), не достаточно хорошо совпадают с экспериментальными данными [3].

2 При расчете потерь звука, излучаемого многочисленными источниками строительных площадок и промышленных предприятий, расположенных в высоких строениях (более 10 м над землей), а также от мощных акустических источников, расположенных внутри заводов, необходимо использовать выражение (3.44) для определения среднего значения уровня звукового давления.

3 При прохождении дороги через пониженный участок местности (выемка) возможно дополнительное поглощение звука, не учтенное в формуле (3.43). Это происходит за счет поглощения звука поверхностью вне понижения.

3.3.8.2. Снижение уровня звукового давления экраном $\Delta L_{экр}$, дБ, следует рассчитывать в зависимости от числа Френеля N, которое определяется через разность длин путей звукового луча (рисунок 3.7). Для тонкого экрана, толщина которого много меньше длины волны λ, дифракция звука происходит практически однократно на его единственном горизонтальном ребре.

В этом случае число Френеля N следует рассчитывать согласно формуле [3]

$$N = \frac{2}{\lambda}\left[\sqrt{(d_{se} + d_{er})^2 + d_{\perp}^2} - d_{sr}\right], \qquad (3.45)$$

где d_{se} — расстояние, м, от источника звука до точки, лежащей на ребре полубесконечного экрана и на пути, определяемом наикратчайшим расстоянием между источником и расчетной точкой;

d_{er} — расстояние, м, от расчетной точки до упомянутой выше точки, лежащей на ребре полубесконечного экрана и на пути, определяемом наикратчайшим расстоянием между точкой источника и приема;

d_{sr} — расстояние, м, от источника звука до расчетной точки;

$d_{\perp}$ — длина проекции отрезка SR на ребро экрана, м. При расположении линии распространения звука перпендикулярно верхней кромке экрана $d_{\perp} = 0$;

λ — длина волны звука, м. Длина волны равна $\lambda = c/f$ и соответствует среднегеометрической частоте октавной полосы.

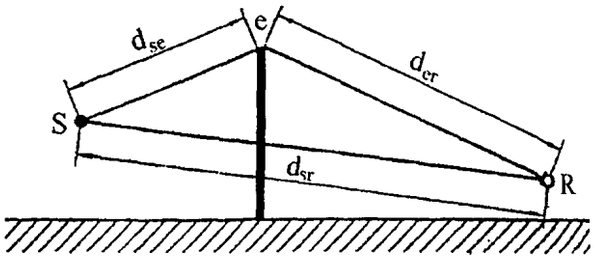


Рисунок 3.7 — Распространение лучей звука при его однократной дифракции на тонком экране

3.3.8.3. Эффект установки тонкого экрана для данного числа Френеля рассчитывается по формуле [3], [12]

$$D_z = 10\lg[3 + 10NC_2K], \qquad (3.46)$$

где C_2 — коэффициент, в большинстве случаев равный единице. При этом формула (3.46) учитывает поглощение звука за счет его распространения над поверхностью земли после установки экрана. Если учитывать также и отражение звука от земли, то за счет образования мнимого источника коэффициент C_2 необходимо положить равным 2;

K — поправочный коэффициент, учитывающий метеорологические условия распространения звука. Коэффициент K рассчитывается согласно следующей формуле [2]:

$$K = e^{-0.005\sqrt{\frac{d_{se}\, d_{er}\, d_{se}}{N\lambda}}}. \qquad (3.47)$$

При расстояниях d_{sr} между источником и расчетной точкой меньше 100 м ($d_{sr} < 100$) коэффициент K можно положить с точностью до 1 дБ равным единице. При боковой дифракции объектов (см. рисунок 3.6) коэффициент K равен также единице.

При расчете величины D_z предполагается, что существует только один путь прохождения звука от источника до приемника. В противном случае необходимо провести ряд дополнительных вычислений для других путей, как показано на рисунке 3.6. В результате необходимо энергетически суммировать вклады от всех путей распространения звука.

3.3.8.4. Для толстых экранов, а также объектов конечной толщины (насыпи, дома) дифракция звука может происходить дважды — как на передней, так и на задней кромке экрана (рисунок 3.8). В отличие от (3.46) потери установки экрана определяются в этом случае следующим образом [3]:

$$D_z = 10\lg(3 + 10N_T C_2 C_3 K), \qquad (3.48)$$

где N_T — число Френеля, которое в отличие от выражения (3.45), справедливого для тонких экранов, определяется теперь как

$$N_T = \frac{2}{\lambda}\left[\sqrt{(d_{se} + d_{er} + d_{ee})^2 + d_{\perp}^2} - d_{sr}\right]; \qquad (3.49)$$

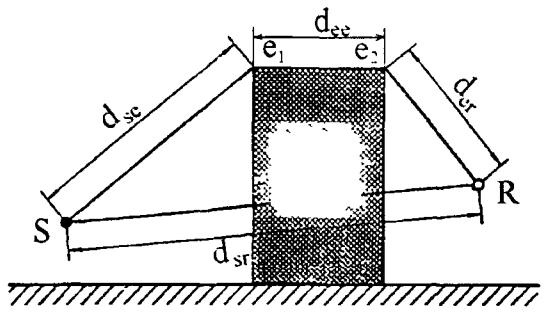


Рисунок 3.8 — Распространение лучей звука при двукратной дифракции на толстом экране

C_3 — коэффициент, равный единице для тонких экранов, в случае двойной дифракции равен теперь [3]:

$$C_3 = 3\frac{d_{ee}^2 + 25\lambda^2}{d_{ee}^2 + 75\lambda^2}, \qquad (3.50)$$

d_{ee} — расстояние между двумя линиями, на которых происходит двойная дифракция звука. Расстояние d_{ee} измеряется в метрах.

Примечания

1 Выражение (3.48) осуществляет плавный переход в формуле (3.46) от однократной дифракции, когда $d_{ee} = 0$, а $C_3 = 1$, к случаю двукратной дифракции, когда $d_{ee} \gg \lambda$, а $C_3 = 3$.

2 Эффективность экрана может оказаться меньше величины, рассчитанной по формулам (3.43)—(3.50). Это возможно в результате многократного переотражения звука между источником и акустически жестким экраном, а также отражения звука от других акустически жестких поверхностей. Эти поверхности могут располагаться недалеко от пути прохождения звука от его источника до расчетной точки.

3 Выражение D_z, рассчитанное в произвольных октавных полосах по формуле (3.46), не должно быть больше 20 дБ для тонких экранов при однократной дифракции. Для толстых экранов и двукратной дифракции соответствующее выражение D_z, рассчитанное по формуле (3.48), не должно быть больше 25 дБ [3].

Ослабление звука с помощью двух экранов рассчитывается с помощью формулы (3.48) для двойной дифракции звука, как показано на рисунке 3.9. Ослабление звука тремя или более экранами рассчитывается приближенно с помощью того же уравнения (3.48) выбором двух наиболее эффективных экранов и пренебрегая действием других экранов.

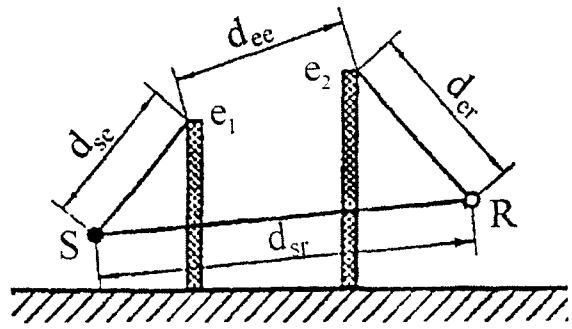


Рисунок 3.9 — Распространение лучей звука при двукратной дифракции на двух экранах

3.3.8.5 Вопросы, связанные с выбором и применением конкретных конструкций экранов и других наружных ограждений, обеспечивающих требуемое экранирование объектов, изложены в приложении В [14].

3.3.9 Снижение уровня звукового давления вследствие влияния других факторов

3.3.9.1 Снижение уровня звукового давления может происходить и за счет других дополнительных факторов. Отражение звука от окружающих объектов может приводить к образованию дополнительных мнимых источников шума. Зеленые насаждения могут образовывать преграду на пути прямого распространения звука. Снижение уровня звукового давления может происходить и вследствие ограничения угла видимости источника шума из расчетной точки.

Отражения должны рассматриваться в качестве мнимых источников звука. Эти отражения от потолков или поверхностей, более или менее вертикальных фасадов зданий, обычно усиливают звук в точке приема. Эффект отражения звука от земной поверхности не должен учитываться, поскольку он включен в общие формулы (3.13), (3.14) в качестве составляющей $\Delta L_{гр}$.

3.3.9.1.1 Отражения от препятствий рассчитываются согласно приведенной ниже методике при следующих условиях:

- зеркальное отражение происходит таким образом, как показано на рисунке 3.10;

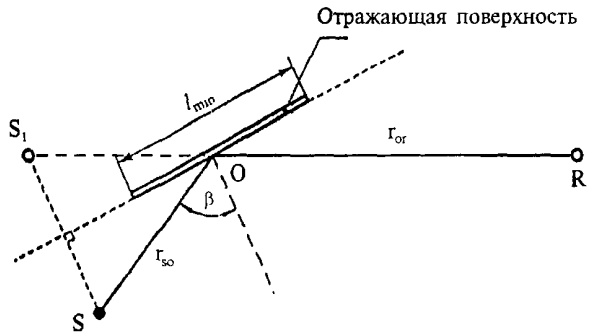


Рисунок 3.10 — Приход отраженного луча в расчетную точку R из мнимого источника S_1. При прохождении расстояния $r_{so} + r_{or}$ прямой луч отражается от плоскости под углом, равным углу падения β

- величина коэффициента отражения от поверхности объекта должна быть больше 0,2;
- характерные размеры отражающей поверхности должны быть велики по сравнению с длиной волны звука, соответствующей среднегеометрической частоте октавной полосы. При этом должно иметь место следующее неравенство:

$$\frac{(r_{so} + r_{or})}{2r_{so}r_{or}}(l_{\min}\cos\beta)^2 > \lambda, \qquad (3.51)$$

где λ — длина волны звука, м, соответствующая среднегеометрической частоте f_{cr} октавной полосы и связана с этой частотой следующим соотношением: $\lambda = 340/f_{cr}$;

r_{so} — расстояние, м, от источника звука до точки отражения O;

r_{or} — расстояние, м, от точки отражения O до расчетной точки;

β — угол падения в радианах (см. рисунок 3.10);

$l_{\min}$ — минимальный размер (длина или ширина) отражающей плоскости (см. рисунок 3.10)

При невыполнении одного из перечисленных выше условий для данного октавного диапазона отражения не учитываются.

3.3.9.1.2 При расчете снижения уровня звукового давления действительный и мнимый источники рассматриваются отдельно. Уровень звуковой мощности мнимого источника в октавных диапазонах вычисляется по следующей формуле [3]:

$$L_{W\,Im} = L_{Ws} + 10\lg(\rho) + \Phi, \qquad (3.52)$$

где $L_{W\,Im}$ — уровень звуковой мощности мнимого источника звука, дБ;

L_{Ws} — уровень звуковой мощности действительного источника звука, дБ;

ρ — коэффициент отражения звука, падающего под углом β на препятствие ($\rho > 0{,}2$);

Ф — фактор направленности источника в направлении мнимого изображения расчетной точки (точка S_1 на рисунке 3.10).

При отражении звука от объектов с жесткими поверхностями, имеющих цилиндрическую форму, коэффициент отражения рассчитывается по формуле

$$\rho = \frac{D\sin(\varphi/2)}{2r_{sc}}, \qquad (3.53)$$

где D — диаметр цилиндра;

r_{sc} — расстояние между источником звука и центром цилиндра;

φ — угол между линиями SC и CR на рисунке 3.11.

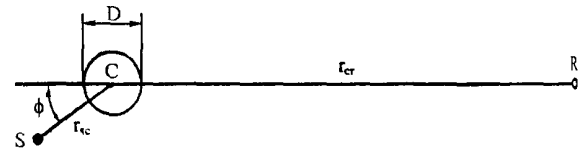


Рисунок 3.11 — Отражение звука от цилиндра

При отсутствии данных о коэффициенте отражения его значение может быть приближенно оценено с помощью таблицы 3.20.

Для мнимого источника звука величины ρ и Ф вычисляются отдельно в соответствии с путем прохождения отраженного звукового луча.

Таблица 3.20 — **Коэффициент отражения ρ**

Объект	ρ
Плоская жесткая поверхность	1,0
Стены зданий с окнами с небольшими украшениями или эркером	0,8
Стены заводов и фабрик, 50 % поверхности которых занята отверстиями, разными установками и трубами	0,4
Открытые установки (трубы, башни и т.п.)	0

3.3.9.1.3 Приближенная оценка отражения звука от вертикальных поверхностей типа внешних стен зданий может производиться также с помощью формулы, приведенной в 3.3.7.3. Для этих целей необходимо воспользоваться рисунком 3.3 и считать, что отражающая плоскость *P* является внешней стеной. Расчет производится на основе вычисления разности длин прямого r_{rs} и отраженного r_r лучей.

Примечания

1 Для эффективного отражения звука необходимо, чтобы стена в точке отражения была плоской, по крайней мере на расстоянии одной длины волны самой низкой частоты в спектре шума.

2 Поскольку отражение усиливает звук, то знак $\Delta L_{отр}$ должен быть отрицательным.

3 В случае существования нескольких отражающих поверхностей их вклад суммируется.

3.3.9.2 Полосы зеленых насаждений дают существенное снижение уровней звукового давления $\Delta L_{зел}$ только в случаях, когда они являются достаточно плотными. Для этого необходимо, чтобы они образовывали полную преграду на пути прямого распространения звука, т.е. чтобы не были видны отдельные участки пути через растительность. Снижение может определяться участком полосы вблизи источника длиной d_1 или участком полосы вблизи расчетной точки длиной d_2, или обоими участками длиной d_1 и d_2, как показано на рисунке 3.12. При вычислении длин d_1 и d_2 радиус кривой может быть взят равным примерно 5 км. С другой стороны, участки длиной d_1 и d_2 могут быть взяты вдоль лучей, проходящих под углом 15° к поверхности грунта [3]. Снижение уровня звукового давления $\Delta L_{зел}$ необходимо определять в октавных полосах частот и в зависимости от общей длины $d_f = d_1 + d_2$, м, проходимой звуком через плотную листву участка полосы зеленых насаждений.

Снижение $\Delta L_{зел}$ обычными многорядными полосами зеленых насаждений с плотным примыканием крон деревьев между собой и с заполнением подкронового пространства кустарником следует определять согласно следующей формуле и таблице 3.21:

$$\Delta L_{зел} = \begin{cases} B & \text{при } 10 \le d_f \le 20; \\ \alpha_{зел} d_f & \text{при } 20 \le d_f \le 200. \end{cases} \quad (3.54)$$

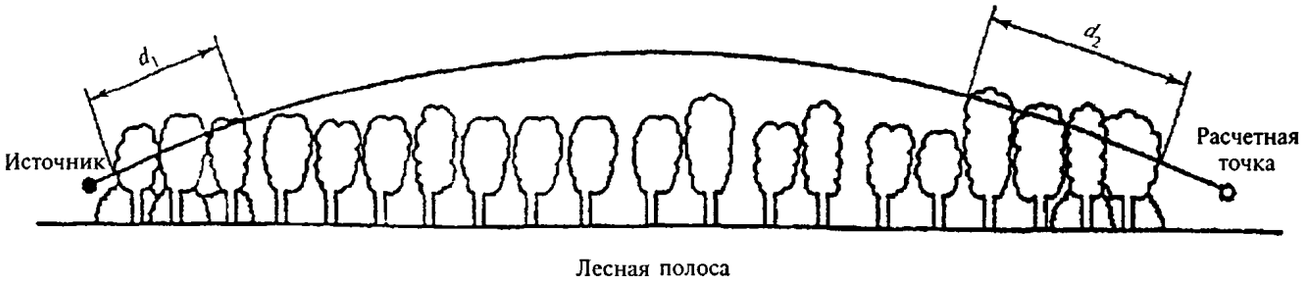


Рисунок 3.12 — Определение расстояния

Таблица 3.21 — **Постоянная B и коэффициент $\alpha_{зел}$**

Величина	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
B, дБ	0	0	1	1	1	1	2	3
$\alpha_{зел}$, дБ/м	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

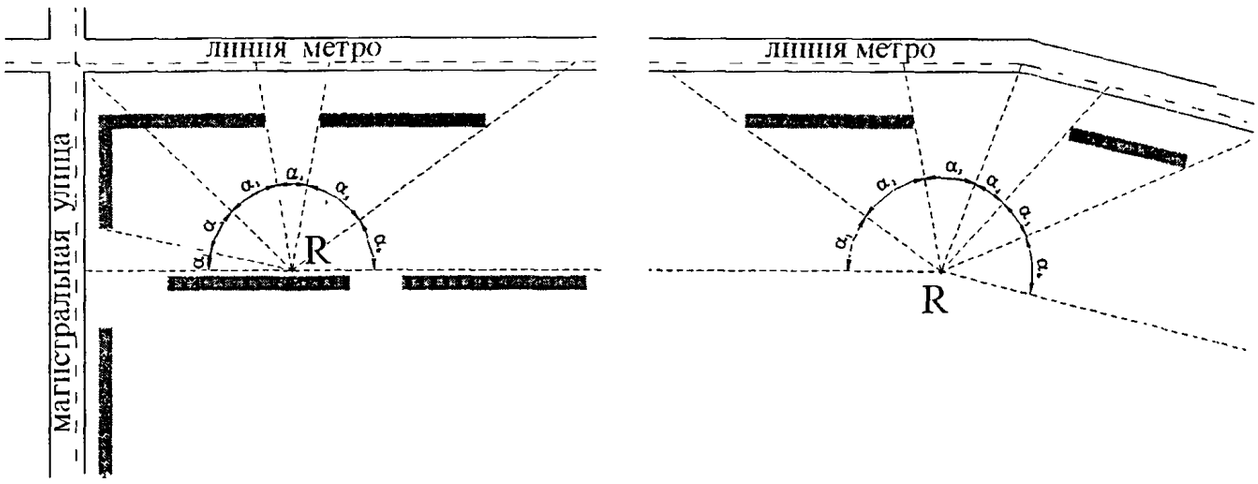


Рисунок 3.13 — Примеры разбивки территории в окрестности линии метро на участки, отличающиеся по условиям распространения шума

При выполнении приближенных расчетов можно воспользоваться формулой

$$\Delta L_{\text{А зел}} = \alpha_{\text{А зел}} d_f, \qquad (3.55)$$

где $\alpha_{\text{А зел}} = 0{,}08$ — среднее значение постоянной затухания, дБ/м, [13].

Примечания

1 Деревья и кустарники являются плохими барьерами для шума. Затухание звука за счет экранирования ими шума оказывается в общем невелико. Однако их корни приводят к пористости подстилающей поверхности, над которой распространяется звук. Поэтому наибольший эффект в ослаблении звука обеспечивается не в результате экранирующего действия растительности, а за счет увеличения снижения звука подстилающей поверхностью, которое учитывается поправкой $\Delta L_{гр}$. Однако если листва плотной растительности перекрывает ход звуковых лучей полностью, то возникает дополнительное затухание звука, учитываемое членом $\Delta L_{зел}$. Лес, полосы насаждений естественной растительности, забор из кустарников — все это может быть примерами плотной растительности. Голые же сучья и голые стволы деревьев ни к какому дополнительному поглощению звука не приводят.

2 Формулы (3.54) и (3.55) можно использовать при ширине полосы зеленых насаждений не более 200 м. Для участка пути d_f > 200 м принимают $\Delta L_{зел}$ равным значению, соответствующему d_f = 200 м. Снижение уровня звукового давления полосами зеленых насаждений следует учитывать только при расчете уровней звука на площадках отдыха микрорайонов и групп жилых домов, на площадках детских дошкольных учреждений и на участках школ.

3.3.9.3. Снижение уровня звукового давления ΔL_{α} (дБ) вследствие ограничения угла видимости улицы или дороги из расчетной точки следует определять по формуле

$$\Delta L_{\alpha} = 10 \lg \frac{180}{\alpha}, \qquad (3.56)$$

где α — угол видимости неэкранированного участка улицы или дороги из расчетной точки, град. (рисунок 3.13)[11].

3.4 Расчет ожидаемых уровней звука от движущихся объектов

3.4.1. На селитебной территории в окрестности наземных объектов метрополитена могут располагаться нестационарные источники непостоянного шума, такие, как рельсовый и автомобильный транспорт. Шумовой характеристикой потоков рельсового транспорта являются максимальный $L_{\text{A max}}$ и эквивалентный $L_{\text{A экв}}$ уровни звука, измеренные в дБА, а для автомобильного транспорта нормируется только эквивалентный уровень звука $L_{\text{A экв}}$, дБА.

3.4.1.1 При рассмотрении движущихся объектов их можно рассматривать в зависимости от их размеров, расстояния до них и других условий как точечные или как линейные. При очень больших расстояниях отдельные объекты излучают шум как сферические точечные источники и тогда снижение звука с расстоянием происходит по закону

$$\Delta L_{\text{рас}} = 20 \lg(r / r_0), \qquad (3.57)$$

где r — расстояние между объектом и приемной точкой, м;

r_0 — расстояние между объектом и опорной точкой, м.

Примечание — Поправка $\Delta L_{\text{рас}}$ частотно независима и может применяться для расчета снижения уровня звука как в октавных диапазонах, так и с коррекцией А.

3.4.1.2 При рассмотрении транспортных потоков вблизи расчетной точки последние могут рассматриваться зачастую как линейные источники звука с цилиндрической расходимостью. В этом случае относительное снижение уровня звука $\Delta L_{\text{рас}}$ в свободном пространстве описывается следующей формулой:

$$\Delta L_{\text{рас}} = 10 \lg \frac{r}{r_0}, \qquad (3.58)$$

где r — кратчайшее расстояние между транспортной линией и приемной точкой, м;

r_0 — кратчайшее расстояние между транспортной линией и опорной точкой, м.

Примечания

1 Поправка $\Delta L_{\text{рас}}$, определяемая формулой (3.58), частотно независима и может применяться для расчета снижения уровня звука как в октавных полосах частот, так и с коррекцией А.

2 Формулой (3.58) необходимо пользоваться при расчете эквивалентного уровня звука, производимого автомобильным и рельсовым транспортом.

3.4.1.3 В случае, когда протяженный линейный источник звука конечной длины l можно представить в виде суммы некогерентных излучателей, снижение уровня звука в свободном пространстве описывается следующей формулой:

$$\Delta L_{\text{рас}} = 10 \lg\left(\frac{\operatorname{arctg}(l/2r_0)}{r_0}\right) - 10 \lg\left(\frac{\operatorname{arctg}(l/2r)}{r}\right), \qquad (3.59)$$

где r — расстояние между приемной точкой и линией по перпендикуляру к ней, м;

r_0 — расстояние между опорной точкой и линией по перпендикуляру к ней, м.

Примечания

1 Поправка $\Delta L_{\text{рас}}$, определяемая формулой (3.59), частотно независима и может применяться для расчета снижения уровня звука как в октавных диапазонах, так и с коррекцией А.

2 При расчете максимального уровня звука, вызванного проходящим составом рельсового транспорта, необходимо пользоваться формулой (3.59).

3.4.2 Расчет эквивалентного уровня звука, создаваемого поездами метро, необходимо производить согласно следующей формуле:

$$L_{\text{А экв}} = 2 + 10 \lg(n) + 24{,}9 \lg(v) - 10 \lg(r) + 10 \lg(l), \qquad (3.60)$$

где n — число пар поездов в час, пар/ч;

v — скорость движения поезда, км/ч;

r — расстояние между приемной точкой и осью пути, ближайшего к расчетной точке, м;

l — длина поезда, м.

3.4.3 Расчет эквивалентного уровня звука, создаваемого пригородными электропоездами, необходимо производить согласно следующей формуле:

$$L_{\text{А экв}} = 11{,}1 + 10 \lg(n) + 24{,}9 \lg(v) - 10 \lg(r) + 10 \lg(l). \qquad (3.61)$$

3.4.4 Расчет эквивалентного уровня звука, создаваемого пассажирскими поездами, необходимо производить согласно следующей формуле:

$$L_{\text{А экв}} = 20{,}4 + 10 \lg(n) + 16{,}6 \lg(v) - 10 \lg(r) + 10 \lg(l). \qquad (3.62)$$

3.4.5 Расчет эквивалентного уровня звука, создаваемого грузовыми поездами, необходимо производить согласно следующей формуле:

$$L_{\text{А экв}} = 25{,}6 + 10 \lg(n) + 16{,}6 \lg(v) - 10 \lg(r) + 10 \lg(l). \qquad (3.63)$$

3.4.6 Расчет максимального уровня звука, создаваемого поездами метро, необходимо производить согласно следующей формуле

$$L_{\text{A max}} = 27{,}7 + 35 \lg(v) + 10 \lg\left(\frac{\operatorname{arctg}(l/2r)}{r}\right). \qquad (3.64)$$

3.4.7 Расчет максимального уровня звука, создаваемого пригородными электропоездами, необходимо производить согласно следующей формуле:

$$L_{\text{A max}} = 36{,}8 + 34{,}9 \lg(v) + 10 \lg\left(\frac{\operatorname{arctg}(l/2r)}{r}\right). \qquad (3.65)$$

3.4.8 Расчет максимального уровня звука, создаваемого пассажирскими поездами, необходимо производить согласно следующей формуле:

$$L_{\text{A max}} = 27{,}68 + 35 \lg(v) + 10 \lg\left(\frac{\operatorname{arctg}(l/2r)}{r}\right). \qquad (3.66)$$

3.4.9 Расчет максимального уровня звука, создаваемого грузовыми поездами, необходимо производить согласно следующей формуле:

$$L_{\text{A max}} = 40{,}5 + 26{,}6 \lg(v) + 10 \lg\left(\frac{\operatorname{arctg}(l/2r)}{r}\right). \qquad (3.67)$$

Примечания

1 На участках железнодорожных путей, уложенных на деревянные шпалы, необходимо учитывать поправку $\Delta L_{\text{Ашп}} = -2$ дБА. На участках железнодорожных путей с открытыми стыками рельсов следует учитывать поправку $\Delta L_{\text{Ашп}} = +2$ дБА.

2 При выборе коэффициентов в формулах (3.60)—(3.67) были использованы экспериментальные данные, приведенные в работах [9], [10].

3.4.10 Расчет эквивалентного уровня звука, создаваемого автотранспортными потоками с учетом поправок ΔL_{A1}, ΔL_{A2} и ΔL_{A3} к $L_{A\,экв}$, приведенных в таблицах 3.22—3.24, необходимо выполнять по формуле

$$L_{A\,экв} = 16,2 + 10\lg(N) + 13,3\lg(v) + \\ +9\lg(1 + P_г) + 10\lg(r), \qquad (3.68)$$

где N — интенсивность движения транспортных потоков в «час пик», авт/ч;

v — средняя скорость движения транспортных потоков, км/ч;

$P_г$ — доля грузового и общественного транспорта в общем потоке, %.

Таблица 3.22 — **Поправка ΔL_{A1}**

Число полос движения дороги в обоих направлениях	2	4	6—8
Поправка ΔL_{A1} к $L_{A\,экв}$, дБА	2	1	0

Таблица 3.23 — **Поправка ΔL_{A2}**

Вид покрытия проезжей части дороги	Поправка ΔL_{A2}, дБА
Асфальтобетонное покрытие проезжей части дороги	0
Цементнобетонное покрытие проезжей части дороги	3

Таблица 3.24 — **Поправка ΔL_{A3}**

Продольный уклон улицы или дороги, %		2	4	6	8	10
Поправка ΔL_{A3} к $L_{A\,экв}$ (дБА) при доле грузовых автомобилей, автобусов и троллейбусов в суммарном числе транспортных средств в потоке, %	0	0,5	1	1	1,5	2
	5	1	1,5	2,5	3,5	4,5
	20	1	2,5	3,5	4,5	6
	40	1,5	2,5	4	5,5	7
	100	1,5	3	5	6,5	8

Примечания

1 Шумовой характеристикой автотранспортных потоков в соответствии с ГОСТ 20444 является эквивалентный уровень звука, устанавливаемый в 7,5 м от оси крайней полосы движения на высоте 1,5 м от поверхности земли.

2 При выборе коэффициентов в формуле (3.68) были использованы экспериментальные данные, приведенные в [9], [10].

3.4.11 Ожидаемый эквивалентный уровень звука, создаваемый трамваями, определяется на расстоянии 7,5 м от оси ближайшего пути в дБА по формуле

$$L_{A\,экв} = 59,751 + 10\lg(N) - 10\lg(r) + \Delta L_{A4}. \qquad (3.69)$$

Формула (3.69) получена с помощью работы [15] с учетом примечания 2 пункта 3.4.1.2. Формула учитывает зависимость искомого уровня звука от средней часовой интенсивности движения трамваев N в течение четырехчасового периода с наибольшей интенсивностью движения для дневного времени или от интенсивности движения в наиболее шумный часовой период ночного времени. Поправка ΔL_{A4} учитывает влияние основания пути в дБА и определяется согласно таблице 3.25.

Таблица 3.25 — **Поправка ΔL_{A4}**

Основание пути	ΔL_{A4}, дБА	Расчетный максимальный уровень звука, дБА
Шпально-песчаное	0	82
Шпально-щебеночное	+4	86
То же, на монолитной бетонной плите	+1	83
Монолитно-бетонное	+10	92

3.4.12 Ожидаемый максимальный уровень звука, дБА, создаваемый трамваями, определяется на расстоянии 7,5 м от оси ближайшего пути трамвая с помощью поправок ΔL_{A4}, ΔL_{A5} и ΔL_{A6}, приведенных в таблицах 3.25, 3.26 и на рисунке 3.14.

Примечания

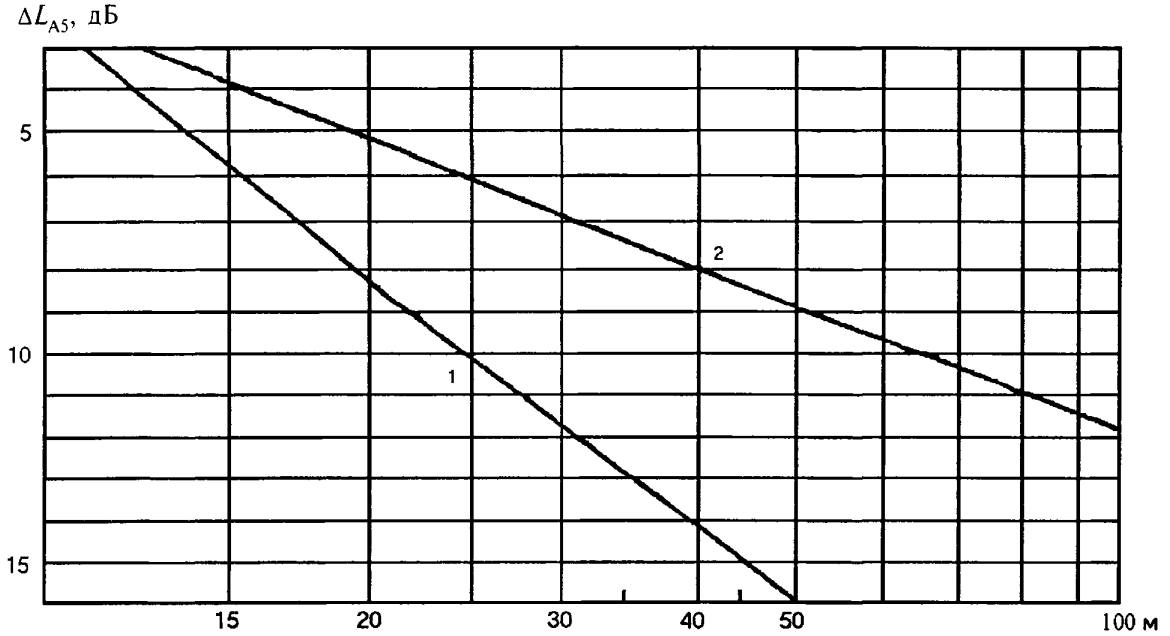
1 Поправка ΔL_{A4}, учитывающая влияние основания пути в дБА, определяется согласно таблице 3.25.

2 Поправка ΔL_{A5}, учитывающая снижение шума в зависимости от расстояния от оси ближайшего пути до расчетной точки в дБА, может определяться для трамвая по упрощенной номограмме рисунка 3.14 [15]. Согласно графику этой работы уменьшение максимального уровня происходит на 6 дБА при увеличении расстояния в два раза вплоть до 45 м.

3 Поправка ΔL_{A6}, учитывающая влияние отраженного звука в дБА, определяется согласно таблице 3.26. Поправка находится в зависимости от отношения высоты расчетной точки $h_{р.т}$ к ширине улицы В между фасадами зданий. Высота расчетной точки $h_{р.т}$ над поверхностью территории принимается в общем случае равной 1,2 м.

Таблица 3.26 — **Поправка ΔL_{A6}**

Тип застройки	Односторонняя застройка	Двусторонняя застройка				
		Отношение $h_{р.т}$/В				
		0,05	0,25	0,4	0,55	0,7
ΔL_{A6}, дБА	1,5	1,5	2,0	2,5	3	3,5



1 — $L_{A\,max}$; *2* — $L_{A\,экв}$

Рисунок 3.14 — Поправка ΔL_{A5}, связанная со снижением уровня звука в зависимости от расстояния от проезжей части улицы до трамвая

3.4.13 Расчетный спектр транспортного шума у наружного ограждения здания определяется по рассчитанному ожидаемому уровню звука в дБА с помощью относительных спектров. Эти значения октавных уровней приведены в таблице 3.27 относительно уровня в дБА.

3.4.14 Поправки $\Delta L_{A\,гр}$ к снижению уровня звукового давления, вызванные подстилающей поверхностью вблизи транспортных магистралей, описываются формулами, приведенными в подразделе 3.3.7.

3.4.15 Снижение уровней звука $\Delta L_{A\,экр}$, дБА, экранами бесконечной длины от рельсового и автомобильного транспорта следует определять согласно формуле

$$\Delta L_{A\,экр} = \Delta L_{A\,экр\,в}, \qquad (3.70)$$

где $\Delta L_{A\,экр\,в}$ — величина, дБА, определяемая по таблице 3.28 в зависимости от разности длин путей прохождения звукового луча δ, м, при принятой высоте экрана.

Таблица 3.27 — **Поправки к относительным спектрам транспортных шумов**

Источник шума	Среднегеометрические частоты, Гц, в октавных полосах частот					
	125	250	500	1000	2000	4000
Автомобильный транспорт	+2	−1	−4	−4	−7	−13
Трамвай	−2	+3	−3	−6	−8	−13
Пассажирские и грузовые поезда на электрической тяге	+1	+1	−1	−6	−10	−18
Пригородные электропоезда	−4	−2	0	−5	−11	−19

Таблица 3.28 — **Снижение уровня звука $\Delta L_{A\,экр\,в}$ для транспортных потоков**

δ, м	0,005	0.02	0,06	0,014	0,028	0,48	0,083	1,4	2,4	6
$\Delta L_{A\,экр\,в}$, дБА	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24

Разность длин путей прохождения звукового луча δ, м, в соответствии со схемой экрана, приведенной на рисунке 3.7, следует определять по формуле

$$\delta = d_{se} + d_{er} - d_{sr}, \qquad (3.71)$$

где d_{se} — расстояние, м, от источника звука до точки, лежащей на ребре полубесконечного экрана и на пути, определяемом наикратчайшим расстоянием между источником и расчетной точкой;

d_{er} — расстояние, м, от расчетной точки до упомянутой выше точки, лежащей на ребре полубесконечного экрана и на пути, определяемом наикратчайшим расстоянием между источником и расчетной точкой;

d_{sr} — расстояние, м, от источника звука до расчетной точки.

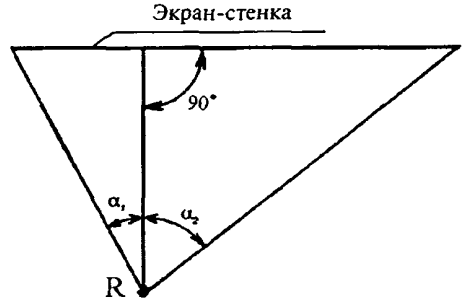
3.4.16 Снижение уровня звука экраном конечной длины $\Delta L_{A\,экр}$, дБА, следует определять по формуле

$$\Delta L_{A\,экр} = \Delta L_{A\,экр\,\alpha} + \Lambda_д, \qquad (3.72)$$

где $\Delta L_{A\,экр\,\alpha}$ — меньшая из величин $\Delta L_{A\,экр\,\alpha_1}$ и $\Delta L_{A\,экр\,\alpha_2}$, дБА, определяемых по таблице 3.29 в зависимости от величины $\Delta L_{A\,экр\,в}$;

$\Lambda_д$ — поправка, дБА, определяемая по таблице 3.30 в зависимости от разности величин $\Delta L_{A\,экр\,\alpha_1}$ и $\Delta L_{A\,экр\,\alpha_2}$.

Примечание — Величины $\Delta L_{A\,экр\,\alpha_1}$ и $\Delta L_{A\,экр\,\alpha_2}$ определяются в зависимости от углов α_1 и α_2, под которыми видны края экрана, согласно рисунку 3.15.



R — расчетная точка

Рисунок 3.15 — Вид сверху экрана конечной длины

Таблица 3.29 — **Снижение уровня звука $\Delta L_{A\,экр\,\alpha_i}$ при заданном угле α_i (i = 1,2)**

α_1 и α_2, град.	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
$\Delta L_{A\,экр\,в}$, дБА	Снижение уровня звука $\Delta L_{A\,экр\,\alpha_1}$ и $\Delta L_{A\,экр\,\alpha_2}$, дБА, при данном угле α_1 и α_2, град.									
6	1,2	1,7	2,3	3,0	3,8	4,5	5,1	5,7	6,0	6
8	1,7	2,3	3,0	4,0	4,8	5,6	6,5	7,4	8,0	8
10	2,2	2,9	3,8	4,8	5,8	6,8	7,8	9,9	10,0	10
12	2,4	3,1	4,0	5,1	6,2	7,5	8,8	10,2	11,7	12
14	2,6	3,4	4,3	5,4	6,7	8,1	9,7	11,5	13,3	14
16	2,8	3,6	4,5	5,7	7,0	8,6	10,4	12,4	15,0	16
18	2,9	3,7	4,7	5,9	7,3	9,0	10,8	13,0	16,8	18
20	3,2	3,9	4,9	6,1	7,6	9,4	11,3	13,7	18,7	20
22	3,3	4,1	5,1	6,3	7,0	9,8	11,9	14,5	20,7	22
24	3,5	4,3	5,8	6,5	8,2	10,2	12,6	15,4	22,6	24

Таблица 3.30 — **Поправка $\Lambda_д$ в зависимости от разности величин $\Delta L_{A\,экр\,\alpha_1} - \Delta L_{A\,экр\,\alpha_2}$**

$\Delta L_{A\,экр\,\alpha_1} - \Delta L_{A\,экр\,\alpha_2}$, дБА	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$\Lambda_д$, дБА	0	0,8	1,5	2,0	2,4	2,6	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0

3.5 Порядок подбора мероприятий по обеспечению требуемого снижения шума

3.5.1 После определения величин требуемого снижения уровней шума в расчетных точках согласно 3.1.9 следует источники, шум от которых требуется снизить, разместить на территории объекта в месте, наиболее удаленном от расчетных точек. Причем эти источники и здания или сооружения, в которых они расположены, следует размещать таким образом, чтобы наиболее интенсивные были экранированы от расчетных точек зданиями или сооружениями с менее интенсивными источниками шума.

3.5.2 Излучающие конструкции источников, шум от которых требуется снизить, а также окна и двери помещений, в которых они устанавливаются, следует, по возможности, ориентировать в сторону, противоположную направлениям в расчетные точки.

3.5.3 После выполнения архитектурно-планировочных мероприятий согласно 3.5.1, 3.5.2 необходимо произвести перерасчет ожидаемых уровней шума и требуемого снижения уровней шума источников, к которым были применены вышеуказанные мероприятия.

3.5.4 Подбор строительно-акустических мероприятий после выполнения архитектурно-планировочных мероприятий следует выполнять в начале для источников с максимальными требованиями по снижению уровней шума.

3.5.5 Основными строительно-акустическими мероприятиями по снижению шума источников на объектах метрополитена являются:

- для вентиляционных систем, компрессорных, скрубберных и т.п. — установка глушителей шума в соответствии с разработанными рекомендациями. Кроме того, для вентиляторов, устанавливаемых открыто (крышные, передвижные компрессоры и т.п.), дополнительно к глушителям шума — установка шумозащитных кожухов в соответствии с рекомендациями, изложенными в 3.5.7;

- для технологического оборудования — установка в здания с преимущественной ориентацией окон и дверей в сторону, противоположную направлениям в расчетные точки, а также использование шумозащитных конструкций окон и дверей (приложение А);

- для моечных площадок автотранспорта — установка шумозащитных экранов со стороны селитебной территории.

3.5.6 Для снижения шума вентиляционных систем, компрессорных рекомендуется применять трубчатые и пластинчатые глушители шума, конструкции которых подбирают в зависимости от размеров воздуховода, допустимой скорости воздушного потока, требуемого снижения октавных уровней звукового давления и преполагаемого места для установки глушителя.

Рабочие чертежи конструкций типовых трубчатых и пластинчатых глушителей шума и их акустическая эффективность приведены в типовом альбоме [8].

Необходимую длину трубчатых и пластинчатых глушителей следует подбирать таким образом, чтобы величины акустической эффективности глушителя в октавных полосах частот были не меньше значений требуемого снижения уровней шума. Уточненные данные об акустической эффективности глушителей приведены в приложении 1 Руководства [4].

В большинстве случаев длина глушителя не должна превышать 2 м. Длина глушителя более 3 м нецелесообразна из-за неизбежных косвенных путей распространения шума. В тех случаях, когда требуемая длина глушителя превышает 3 м, следует делить глушитель на две части. Длина воздуховода между частями глушителя должна составлять 0,8—1,0 м. Во избежание распространения звука по металлическому воздуховоду желательно на этом участке устанавливать гибкую вставку длиной 100—150 мм.

Необходимое свободное сечение глушителя определяют из соотношения

$$F_{св} = \frac{Q}{v_{доп}}, \qquad (3.73)$$

где Q — объемный расход воздуха через глушитель, м^3/с;

$v_{доп}$ — допустимая скорость воздуха в глушителе, м/с.

В общем случае $v_{доп}$ следует выбирать в зависимости от допустимого уровня звуковой мощности шумообразования в самом глушителе, определяемого по формуле

$$L_{W доп\, i} = L_{W вх\, i} + \Delta L_{тр\, i}, \qquad (3.74)$$

где $L_{W вх\, i}$ — уровень звуковой мощности на входе в глушитель в i-й октавной полосе, дБ;

$\Delta L_{тр\, i}$ — требуемое снижение уровня звуковой мощности, дБ, определяемое согласно 3.1.9.

Величину $L_{W вх\, i}$ можно определять по формуле

$$L_{W вх\, i} = L_{Wi} + \Delta L_{Wi\, сети}, \qquad (3.75)$$

где L_{Wi} — уровень звуковой мощности вентилятора в i-й октавной полосе, дБ;

$\Delta L_{Wi\,\text{сети}}$ — снижение уровня звуковой мощности по пути распространения звука в воздуховоде от вентилятора до глушителя в i-й октавной полосе, дБ, определяемые согласно 3.3.4.5.

Экспериментальные данные о собственном шумообразовании в пластинчатых глушителях сечением $F = 0{,}5 \cdot 0{,}8 = 0{,}4$ м^2 с пластинами толщиной 100 и 200 мм и фактором свободной площади $\varphi_{св} = 0{,}5$ ($\varphi_{св} = F_{св}/F$) приведены в приложении Б. Для других сечений на всех частотах к табличным данным следует прибавлять поправку:

$$\Delta L_F = 10 \lg \frac{F}{0{,}4}, \qquad (3.76)$$

где F — площадь сечения устанавливаемого глушителя, м^2.

Шумообразование в трубчатых глушителях следует определять по данным для пластинчатых глушителей с обтекателями на входе с эквивалентным периметром звукопоглощающих поверхностей поперечного сечения.

Примечание — Для предупреждения выдувания стекловолокнистого материала $v_{доп}$ не должна превышать 15 м/с.

Глушители шума следует устанавливать как можно ближе к вентилятору.

3.5.7 Кожухи для открыто стоящего оборудования, являющегося источником повышенного шума, следует проектировать из листовых несгораемых или трудно сгораемых материалов. Толщину стенок кожуха подбирают исходя из частотной характеристики требуемой изоляции воздушного шума, которую в случае выполнения стенок кожуха с внутренним покрытием из звукопоглощающего материала определяют по формуле

$$R_{k\,тр\,i} = \Delta L_{тр\,i} + \Delta R_i + 5, \qquad (3.77)$$

где $\Delta L_{тр\,i}$ — требуемое снижение уровня звукового давления в i-й октавной полосе частот, дБ, определяемое согласно 3.1.8;

ΔR_i — поправка, дБ, вычисляемая по формулам:

а) для кожухов со звукопоглощающей облицовкой

$$\Delta R_i = 10 \lg \alpha_{обл\,i}, \qquad (3.78)$$

где $\alpha_{обл\,i}$ — реверберационный коэффициент звукопоглощения облицовки в i-й октавной полосе частот;

б) для необлицованных кожухов

$$\Delta R_i = 10 \lg \frac{S_{ист}}{S_к}, \qquad (3.79)$$

где $S_{ист}$ — площадь воображаемой поверхности правильной формы (полусфера, параллелепипед и т.д.), вплотную окружающей источник, м^2;

$S_к$ — площадь поверхности кожуха, м^2.

Примечание — При $\alpha_{обл\,i} < 0{,}4$ в данной октавной полосе кожух можно считать необлицованным и выполнять расчет ΔR_i по формуле (3.79).

Изоляция воздушного шума стенками кожуха R_i должна быть не менее $R_{к\,тр\,i}$ во всем нормируемом диапазоне частот. Частотные характеристики изоляции воздушного шума некоторыми конструкциями представлены в приложении А.

Кожухи должны быть герметичными, съемными или разборными с возможностью доступа к важным узлам оборудования (дверцы). Проемы в кожухах с пропускаемыми через них коммуникациями должны быть герметизированы вязкоупругим материалом.

При необходимости пропуска через кожух воздуха пропускные отверстия следует снабжать глушителями, обеспечивающими снижение шума не ниже $R_{к\,тр\,i}$ для стенок кожуха.

Кожухи следует устанавливать таким образом, чтобы не было соприкосновения с элементами изолируемого оборудования и с элементами конструкций, на которых оно установлено. Для развязки можно использовать виброизолирующие (резиновые) прокладки.

3.5.8 После подбора строительно-акустических мероприятий по снижению шума необходимо выполнить перерасчет ожидаемых суммарных уровней шума во всех расчетных точках от источников на объекте метрополитена с учетом всех предлагаемых шумозащитных мероприятий. В случае положительного значения $\Delta L_{тр}$ в выражениях (3.1), (3.3), (3.5), (3.6) хотя бы для одной из расчетных точек необходимо выявить обусловливающие этот факт причины и устранить их, подобрав соответствующее шумозащитное мероприятие.

4 АКУСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

4.1 Общие положения

4.1.1 Настоящий Свод правил представляет методику акустического планирования основных помещений и залов станций в уровне

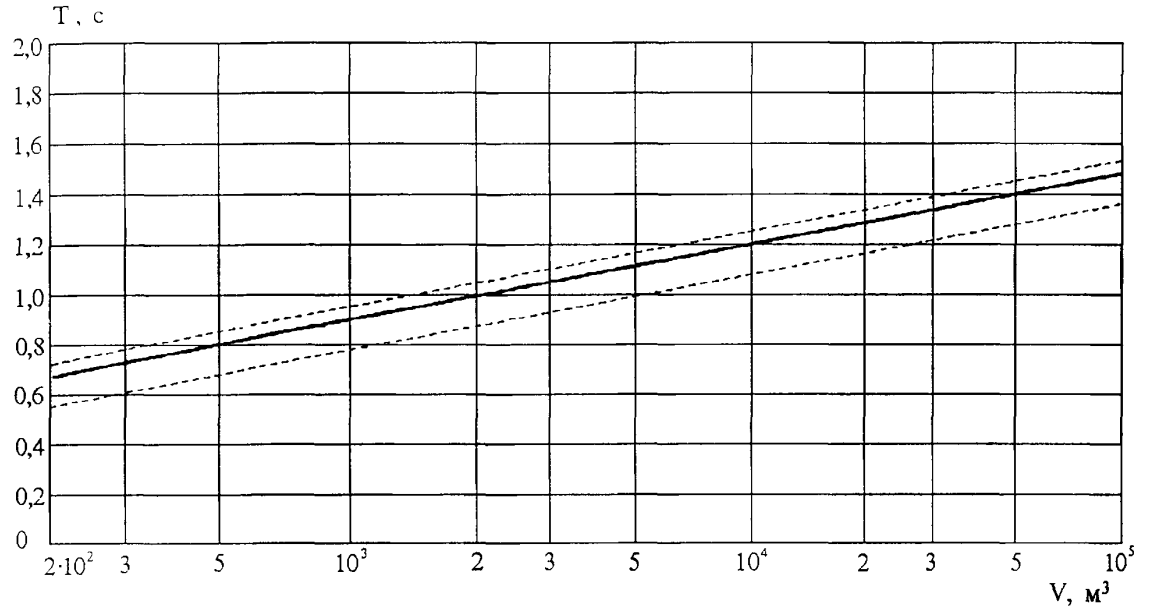


Рисунок 4.1 — Рекомендуемое время реверберации на частотах 500—2000 Гц для залов станций в уровне посадочных платформ метрополитена

посадочных платформ метрополитенов с использованием архитектурно-строительных и электроакустических средств.

4.1.2 Использование в полной мере акустических мероприятий, разработанных на основе настоящего Свода правил, позволит обеспечить во всех типах используемых в метрополитене для приема и эвакуации людей помещений при разных условиях эксплуатации нормативные уровни шумового фона в соответствии с санитарными нормами и разборчивость передаваемой по системам электроакустики речевой информации не ниже классов I и II по ГОСТ 25902.

4.1.3 При акустической приемке помещений, оборудованных акустическими средствами, согласно настоящему Своду правил следует производить измерения уровней шумового фона согласно ГОСТ 23941, измерение времени реверберации согласно ГОСТ 24146 и измерения разборчивости речевой информации согласно ГОСТ 25902.

4.2 Перечень нормируемых параметров

Основными нормируемыми параметрами в оценке акустического комфорта залов станций метрополитена являются:

- уровень допустимого шумового фона согласно кривой предельных спектров ПС-75;
- время реверберации помещений станций метрополитена при 70 %-ной и более степени заполнения в зависимости от объема (согласно рисунку 4.1) с допустимым подъемом на низких частотах (125—250 Гц) не более на 20 %;
- отношение полезного сигнала (информационной речи) к шуму на всей площади приема должно быть при минимальном уровне динамического диапазона речи не менее 15 дБ;
- частотная характеристика звукопередачи должна быть ровной в диапазоне частот 100—5000 Гц во всех зонах исследуемого помещения, с допустимой неравномерностью ±3 дБ;
- такая же неравномерность допускается при работе системы звукофикации при оценке общего уровня поля в отдельных зонах помещений станций метро;
- объективная оценка слоговой разборчивости речи при работе системы озвучения станции в номинальном режиме должна быть не менее 80 %.

4.3 Методика акустического проектирования строящихся и вновь создаваемых станций метрополитена

Акустическое проектирование залов станций метрополитена выполняется в соответствии со структурной схемой последовательности операций, представленной на рисунке 4.2. Ниже излагается содержание всех необходимых операций.

4.3.1 На первом этапе производится подбор всех архитектурных чертежей проектируе-

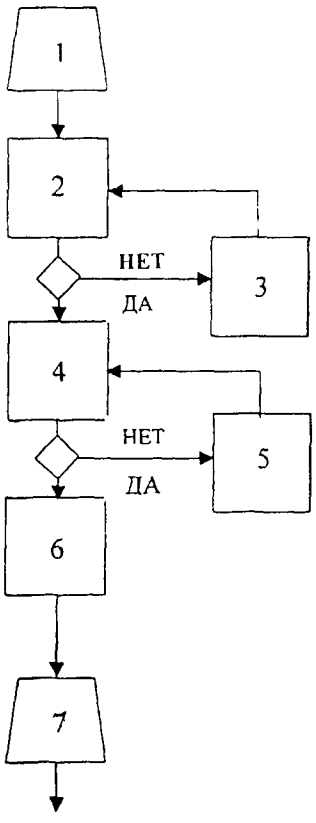


Рисунок 4.2 — Блок-схема последовательности операций акустического проектирования станций метрополитена

1. Представление архитектурно-планировочных и конструктивных данных помещения.
2. Анализ шумового режима помещения на предмет согласования его с нормативными уровнями.
3. Первая коррекция проекта.
4. Акустический расчет помещения на предмет согласования с зонами оптимумов для времени реверберации и других акустических параметров.
5. Вторая коррекция проекта.
6. Электроакустический расчет помещения.
7. Вывод данных по всем акустическим параметрам помещения и требований к техническим характеристикам электроакустической аппаратуры и инженерно-технического оборудования.

мого объекта в полном объеме. Обязательны планы, продольный и поперечный разрезы и чертежи конструкций ограждений. Необходимо иметь перечень материалов, которые предполагается использовать в отделке интерьеров станции. На этом этапе также рассчитываются все геометрические параметры зала станции (площади всех участков ограждений и общий воздушный объем).

4.3.2 На втором этапе производится расчет уровня предполагаемого шумового фона станции в максимально напряженном режиме эксплуатации («час пик») при отсутствии акустических мероприятий, т.е. по первоначально представленным архитектурно-планировочным и конструктивным решениям станции. При этом общий уровень звука в некоторой точке помещения, рассчитываемый в общем виде как сумма прямого и диффузно-рассеянного звука, представляется следующей формулой:

$$L = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^{N} \frac{\Omega_i W_i}{4\pi r_i^2} + \frac{4}{B} \sum_{i=1}^{N} W_i \right\}, \qquad (4.1)$$

где $W_i = W_0 10^{0,1 L_{W_i}}$ — звуковая мощность i-го источника шума, Вт;

L_{W_i} — октавные уровни звуковой мощности каждого i-го источника шума, рассчитываемые в диапазоне частот 63—8000 Гц, дБ, по отношению к пороговому уровню $W_0 = 10^{-12}$ Вт;

Ω_i — фактор направленности i-го источника звука;

N — общее число источников звука;

r_i — расстояние исследуемой точки поля до i-го источника звука.

При этом постоянная зала B определяется следующим образом:

$$B = \bar{\alpha} S / (1 - \bar{\alpha}), \qquad (4.2)$$

где $\bar{\alpha}$ — средний коэффициент звукопоглощения (КЗП) зала станции в соответствующем диапазоне частот;

S — общая площадь ограждений станции, включая все элементы интерьера.

В свою очередь параметр $\bar{\alpha}$ рассчитывается следующим образом:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_k \alpha_k S_k + \sum_m A_m}{S}, \qquad (4.3)$$

где α_k и S_k — КЗП и площадь отдельных поверхностей интерьера зала станции;

A_m — эквивалентное звукопоглощение (ЭЗП) отдельных штучных звукопоглотителей.

В «час пик» уровни шума, создаваемые при въезде на станцию поездами, значительно превышают фоновой шум от пассажиров. Поэтому будет логичным для приблизительных расчетов свести все источники шума к двум главным — одновременно входящим на станцию поездам одного типа. В этом случае формула (4.1) преобразуется к виду:

$$L = L_{W_п} + 10\lg\left\{\sum_{i=1}^{2}\frac{\Omega_i}{4\pi r_i^2} + \frac{8}{B}\right\},$$
$$\text{где } L_{W_п} = 10\lg\frac{W_п}{W_0}. \qquad (4.4)$$

Пиковая мощность звукоизлучения $W_п$ поезда определяется при входе на станцию в соответствующей октавной полосе частот. Фактор направленности звукоизлучения электропоезда следует рассчитывать по формуле

$$\Omega = \frac{l + h}{b}, \qquad (4.5)$$

где l — длина части свода потолка над электропоездом;

h — высота стены от лотка до свода;

b — ширина пути.

В любом случае коэффициент Ω не может быть менее четырех (т.е. 6 дБ), что можно использовать в ориентировочных расчетах, исходя из которых формулу (4.4) можно преобразовать к виду:

$$L = L_{W_п} + 10\lg\left\{\sum_{i=1}^{2}\frac{1}{\pi r_i^2} + \frac{8}{\text{В}}\right\}. \qquad (4.6)$$

Перед началом расчетов план зала станции должен быть разбит на характерные зоны и точки. Вследствие полной симметрии залов станций рекомендуется использовать следующее минимально необходимое количество расчетных точек:

1) перед поездом, на линии полосы безопасности;

2) в центре станции;

3) непосредственно перед пилоном или колонной (если они есть);

4) в проходе между пилонами, если площадь лицевых поверхностей пилонов занимает не менее 30 % площади проемов;

5) непосредственно перед эскалатором или лестницей, на оси зала;

6) на противоположной точке по оси зала, если на станции имеется только один эскалатор (лестница);

7) на входе (выходе) в переход (если они есть).

При проведении расчетов по формулам (4.4)—(4.6) источники шума следует считать линейными, начиная от входа поезда на станцию до его полной остановки, т.е. по всей длине тормозного пути.

Посадочная платформа находится в зоне действия прямого звукоизлучения подходящего поезда и первых отражений от стен и части сводов над платформами. Контроль этого положения следует подтверждать расчетом радиуса действия прямого звука R, представляющим расстояние, при удалении более которого к центру зала реверберационное поле (т. е. 2-й член формул (4.4) и (4.6)) заведомо превалирует над полем прямого звука,

$$R = 0{,}35\sqrt{\frac{\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}}S, \qquad (4.7)$$

определяемого для трех основных диапазонов частот: низких (125—250 Гц), средних (500—1000 Гц) и высоких (2000—4000 Гц).

Частотная характеристика уровня шумового фона акустически необработанного помещения, рассчитанная по формуле (4.6), должна сравниваться с допустимой кривой уровней предельных спектров. Допустимые уровни шума на платформах и вестибюлях станций метрополитена представлены в таблице 4.1. При этом следует учесть, что если расчеты уровней шума для некоторых частот практически совпадут со значениями таблицы 4.1, это является недостаточным, так как мы заведомо пренебрегли шумовым фоном от пассажиров и других составляющих общего шумового режима залов станций метрополитена. Поэтому все расчетные значения $L(f)$ (f — частоты соответствующих октавных полос) должны быть не менее чем на 2—3 дБ ниже соответствующих значений таблицы 4.1. Это требование должно быть особенно тщательно соблюдено для диапазона 125—1000 Гц, так как в данной области частот наблюдается максимальная спектральная плотность разговорной речи.

Расчет уровней звука по шкале «А», максимально коррелированной с характеристиками

Таблица 4.1 — **Допустимые уровни звукового давления**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Уровни звука, дБА
Допустимые уровни звукового давления, дБ	94	87	82	78	75	73	71	70	80

слухового восприятия, производится по формуле

$$L_A = 10 \lg\left(\sum_{i=1}^{8} 10^{0.1[L_i(f)+K_{Ai}]}\right), \qquad (4.8)$$

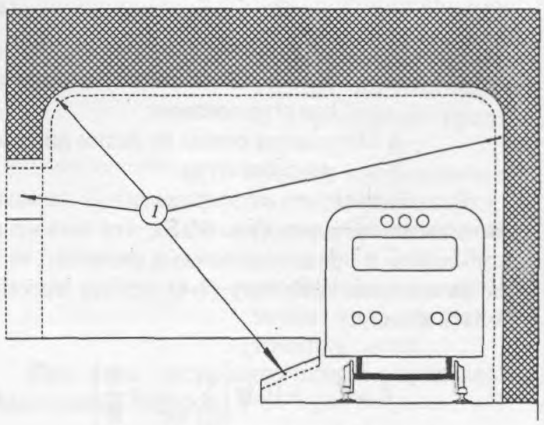
где $L_i(f)$ — рассчитанные уровни звукового давления в октавных полосах частот, дБ;

K_{Ai} — поправочные коэффициенты для каждого диапазона частот (дБ), принимаемые по таблице 3.1.

В случае превышения расчетных уровней шума над нормативными, что практически всегда бывает в акустически необработанном помещении, следует производить первую коррекцию проектного решения зала станции (см. структурную схему на рисунке 4.2).

4.3.3 Первая коррекция проекта (третий этап по рисунку 4.2) базируется на известном факте, что в шумных помещениях с распределенными источниками шума наиболее эффективными средствами борьбы с шумом являются подавление шума в источнике и в ближнем поле (прямой звук и звук, отраженный от ближайших отражающих поверхностей). Методы борьбы с шумом в источнике не входят в компетенцию настоящего документа, так как они в основном включают средства борьбы с виброизлучением конструкций, примыкающих к рельсовому пути. В связи с этим весьма важным для шумоглушения является эффективное покрытие звукопоглощающими конструкциями стен вдоль поездных путей и части потолков (сводов) над ними. Общие требования к звукопоглощающим материалам и конструкциям, допускаемым к применению на станциях метрополитена, изложены в приложении Г.

В приложении Д представлены частотные характеристики КЗП некоторых, наиболее распространенных в практическом применении материалов и конструкций. Рекомендованные места обязательного размещения звукопоглощающих материалов представлены на эскизе рисунка 4.3. После выбора и размещения по схеме рисунка 4.3 звукопоглощающих материалов производится контрольный расчет корректированного уровня звука в характерных точках зала станций метрополитена по формуле (4.6) с учетом нового значения постоянной В. Если и в данных условиях уровни частотной характеристики шума будут превышать соответствующие нормативные значения по таблице 4.1, то следует продолжить процедуру выбора мест размещения и типа звукопоглощающей облицовки, но уже в центральной части зала станции. При этом наиболее эффективными местами их последующего размещения являются боковые поверхности и своды проемов между пилонами (особенно, если они достаточно массивны и площадь их лицевых поверхностей превышает 30—40% площади проема), а также центральная часть потолка зала, где в зависимости от архитектурного решения, могут быть использованы как плоские подвесные звукопоглотители, так и объемные звукопоглотители разной формы [16].



1 — звукопоглощающая облицовка

Рисунок 4.3 — Схема обязательных мест размещения звукопоглощающей отделки на станциях метрополитена

После каждого этапа введения дополнительного звукопоглощения в интерьер помещения делаются контрольные расчеты уровней шумового фона по формуле (4.6), пока на очередном этапе не будут достигнуты нормативные значения уровней шумового фона.

Для ориентированных расчетов минимально необходимого общего фона звукопоглоще-

ния зала станции $A_{треб}$ можно использовать следующие формулы:

$$A_{треб} = \frac{SB_{треб}}{S + B_{треб}}, \qquad B_{треб} = 10^{-0,1(\Delta_m - 9)}, \tag{4.9}$$

где $\Delta_m = L_{доп} - L_n$;

$L_{доп}$ — допустимые уровни шумового фона, определяемые с помощью таблицы 4.1.

4.3.4 На четвертом этапе акустического проектирования производится контрольный расчет частной характеристики времени реверберации на предмет соответствия разработанного акустического решения отделки ограждений помещения станций рекомендованным зонам оптимумов $T(V)$ на рисунке 4.1. Расчет производится по известной формуле Эйринга:

$$T = \frac{0,163V}{S\varphi(\alpha) + nV}, \tag{4.10}$$

где V — общий воздушный объем зала станции в уровне посадочной платформы, м^3;

S — общая площадь внутренних поверхностей зала, м^2;

$\varphi(\alpha)$ — функция среднего коэффициента звукопоглощения $\bar{\alpha}$, равная:

$$\varphi(\alpha) = -\ln(1 - \alpha); \tag{4.11}$$

n — коэффициент, учитывающий поглощение звука в воздухе зала станции, м$^{-1}$.

Коэффициент n обычно рассчитывается для частот 2000 и 4000 Гц из диапазона частот, принятых для расчета времени реверберации (125—4000 Гц). Остальные обозначения аналогичны приведенным в формулах (4.1), (4.2).

В приложении Е приведены данные об ЭЗП стоящих на отражающем полу пассажиров при разной плотности расстановки на 1 м^2 и значения коэффициента n для разного влажностного режима помещения при температуре 20 °С.

Остальные данные о КЗП наиболее распространенных материалов и конструкций ограждений приведены в приложении Д.

Необходимо отметить, что точность расчетов времени реверберации должна быть в пределах ±0,05 с, а зона оптимумов времени реверберации должна находиться в трубке, указанной пунктиром на рисунке 4.1. При этом величины времени реверберации, большие зон оптимумов $T(V)$, могут приводить к избыточной гулкости зала станции, что неизбежно приведет к повышению шумового фона и потере разборчивости речи, а излишняя переглушенность зала станции, приводящая к значениям T, меньшим допущенных зон оптимумов, может значительно увеличить стоимость строительства и стоимость электроакустического обеспечения зала станции. Точное следование зонам оптимума $T(V)$ необходимо для диапазона 500—2000 Гц (рисунок 4.1); в диапазоне низких частот (125—250 Гц) допускается расхождение в пределах $T_{опт}$ ± 20 %, однако предпочтение следует отдать снижению времени реверберации на низких частотах.

4.3.5 В случае значительного превалирования расчетного времени реверберации $T_{расч} > T_{опт}$ следует проводить вторую коррекцию проекта (пятый этап по рисунку 4.2) на предмет существенного увеличения фона звукопоглощения зала станции, определяемого формулой

$$A_{расч} = \bar{\alpha}_{расч} S. \tag{4.12}$$

Отсюда требуемый добавочный фон звукопоглощения определяется следующим образом:

$$\Delta A_{треб} = A_{опт} - A_{расч}, \quad A_{опт} = \bar{\alpha}_{опт} S, \tag{4.13}$$

где $\bar{\alpha}_{опт}$ определяется в соответствии с формулой

$$\varphi(\bar{\alpha}_{опт}) = -\ln(1 - \bar{\alpha}_{опт}) = V\frac{0,163 - T_{опт}n}{T_{опт}S}. \tag{4.14}$$

Имея данные о необходимом $\Delta A_{треб}(f)$ путем подбора соответствующих КЗП, типа, количества и мест размещения звукопоглощающей отделки, методом последовательных приближений следует обеспечить достижение $T_{опт}(f)$.

Необходимо отметить, что расчет времени реверберации по формулам (4.10)—(4.14) справедлив для помещений станций с диффузным звуковым полем, имеющим равномерное распределение звуковых потоков по всем возможным направлениям их прихода, и единый акустический объем зала станции. Диффузность поля существенно нарушается при явной диспропорциональности зала станции (длинные залы станций с низкими потолками), а также при наличии гладких отражающих поверхностей большой площади, приводящих к фокусировке звука (например, сводчатый потолок с центром кривизны, близким к плоскости пола). Такая конфигурация ограждений может привести к вырождению времени реверберации по разным модам и направлениям и сделать неэффективным акустическую отделку от-

дельных ограждений (например, стен). Другой опасностью необработанных акустически длинных залов станций является наличие в них плоскопараллельных участков большой площади (например, стен открытых платформ), могущих создавать эффект флаттера — порхающего эха, особенно наглядного при некоторой заглушенности потолка. Вследствие этого даже введение формально правильно рассчитанной, но неправильно распределенной по ограждениям звукопоглощающей отделки может привести к существенным нарушениям равномерности звуковых потоков в зале станции, избыточному шумовому фону и, особенно, падению разборчивости речевой информации. Во избежание указанных дефектов акустическую обработку зала станции рекомендуется проводить в следующей последовательности:

1) эффективная отделка звукопоглощающей облицовкой стен и сводов над платформами станции (рисунок 4.3);

2) эффективная отделка верхних поверхностей и сводов массивных пилонов, отделяющих платформы от центрального зала станции;

3) эффективное членение различными выступами и кессонами звукоотражающего потолка над центральной частью зала станции (если по данным расчета на нем не требуется размещение звукопоглощающей отделки), причем для увеличения рассеяния во всем диапазоне звуковых частот членения должны быть апериодическими и, по крайней мере, хотя бы часть из них должна иметь размеры не менее 0,5—1,0 м по шагу сетки кессонов и 20—30 см по ширине и глубине;

4) введение, в случае необходимости, звукопоглощающей отделки также и в центральную часть, в первую очередь на потолок зала станции, совмещенную с элементами членений. Здесь возможно также применение объемных звукопоглотителей.

В случае разделения общего воздушного объема зала станции на три акустически связанных объема при площади лицевых ограждений пилонов более 30 % площади проемов, процесс реверберации не может быть описан единой экспоненциальной кривой и, следовательно, формула (4.10) не может быть использована в прямом виде для описания хода отзвука единообразно во всем объеме зала станции. При этих условиях процесс реверберации в каждом из раздельных объемов (посадочные платформы и центральный зал станции) описывается следующими формулами (каждый из раздельных объемов условно назван по номерам: 1-м и 2-м):

$$L_1(t) = 10\lg\left\{e^{\delta_1 t} + K_{1,2}e^{\delta_2 t}\right\};$$
$$L_2(t) = 10\lg\left\{e^{\delta_2 t} + K_{1,2}e^{\delta_1 t}\right\}, \qquad (4.15)$$

где $\delta_1 = 85\dfrac{S_1'}{V_1}\ln(1-\bar{\alpha}_1)$; $\delta_2 = 85\dfrac{S_2'}{V_2}\ln(1-\bar{\alpha}_2)$;

$$K_{1,2} = \frac{S_{1,2}^2}{(\bar{\alpha}_1 S_1')(\bar{\alpha}_2 S_2')}, \qquad (4.16)$$

где V_1 и V_2 — воздушные объемы каждого из связанных объемов станции;

$S_1' = S_1 - S_{1,2}$, $S_2' = S_2 - S_{1,2}$ — общие площади ограждений каждого из связанных объемов станции;

$S_{1,2}$ — общая площадь проемов между связанными объемами станции;

$K_{1,2}$ — коэффициент акустической связи между соседними объемами станции;

δ_1 и δ_2 — постоянные затухания звука в соседних объемах станции;

$\bar{\alpha}_1$ и $\bar{\alpha}_2$ — средние КЗП каждого из объемов станции.

Расчеты по формулам (4.15), (4.16) следует проводить численно, с кусочно линейной аппроксимацией отдельных участков отзвуков, наиболее важными из которых являются начальный процесс реверберации от 0 до −10 (15) дБ уровней спадания и поздняя реверберация по спаду уровней от −10 (15) дБ до −30 (40) дБ. Влияние последней особенно важно, если она значительно больше начальной реверберации и, следовательно, маскирует ее и нарушает нормальное восприятие речи. Следует отметить, что в случае массивных пилонов, разделяющих общий объем станции на три части (размер каждой стороны которых не менее 1 м), площади и объемы воздушных проемов между ними должны быть для упрощения расчетов включены в один из связанных акустических объемов.

Расчет остальных акустических критериев, и в первую очередь критериев разборчивости речи, должен производится на стадии электроакустического расчета зала станции, так как станции метрополитена работают только в режиме оповещения через систему озвучения. Исключением здесь является расчет и построение структуры отражений зала станции от виртуального источника звука на предмет, как уже говорилось, анализа эффектов возможной концентрации отражений, эхо и флаттера. Такие построения делают или графически на масш-

табных чертежах станций, или с помощью известных программ компьютерного моделирования акустики зальных помещений.

4.3.6 Электроакустический расчет залов станций метрополитена (шестой этап по рисунку 4.2) следует начинать с выбора типа системы озвучения и расчета необходимой общей мощности электроакустических трактов. Из практики озвучения зала станции метрополитена хорошо известно, что для хорошей разборчивости информационной речи в шумных станциях с тенденцией к повышенной гулкости, поздней реверберации из связанных объемов и опасностью эхообразований следует выбирать зонально-распределенные цепочки громкоговорителей с направлениями акустических осей на места наибольшего скопления пассажиров. При этом в речевых системах отдается предпочтение средне- и маломощным громкоговорителям, имеющим хорошее отношение сигнал/шум в диапазоне средних и высоких частот и меньшую отдачу в диапазоне низких частот (ниже 200 Гц), мало влияющего на увеличение разборчивости речи.

Расчет минимально требуемой общей акустической мощности звукоизлучателей следует проводить по формуле

$$P_{ак} \geq 0,37 \cdot 10^{-13} \cdot \frac{V}{T} \cdot 10^{0,1\bar{L}_{треб}(f)}, \qquad (4.17)$$

где V — общий воздушный объем зала станции, м^3;

T — время реверберации с;

$\bar{L}_{треб}(f)$ — требуемые уровни звукового давления, дБ, в основных частотных полосах (низкие, средние, высокие).

Для точных расчетов по формуле (4.17) следует учесть допустимые уровни шума в октавных полосах частот (таблица 4.1) при том условии, что обеспечение этих уровней в исследуемом зале станции уже достигнуто на предыдущих этапах расчета. Далее следует увеличить величины расчетных уровней звука в каждом диапазоне частот на требуемое отношение сигнал/шум. При этом считается допустимым обеспечить отношение сигнал/шум не менее 15 дБ в диапазоне высоких частот; не менее 10 дБ — в диапазоне средних частот, и достаточным в 5—6 дБ — в диапазоне низких частот.

Для ориентировочных расчетов можно использовать обычно рекомендуемый средний уровень звука на станции метрополитена, равный $\bar{L}_{треб} \cong 100$ дБ, исходя из которого формула (4.17) преобразуется к виду:

$$P_{ак} \geq 0,37 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{V}{T}. \qquad (4.18)$$

Общую минимально требуемую электрическую мощность источников звука следует определять по формуле

$$P_{эл} \geq \frac{P_{ак}}{\eta} П, \qquad (4.19)$$

где η — к.п.д. звукоизлучателей (обычно не более 1 %);

П — пик-фактор акустического сигнала (у средней речи не более 5).

Требуемую общую мощность системы озвучения надо равномерно распределить системой излучателей по всем зонам нахождения пассажиров. При этом минимально необходимое количество громкоговорителей и структура их размещения (цепочки, решетки) определяются исходя из конкретного объемно-планировочного решения зала станции метрополитена на основе двух условий:

1) в каждой, даже самой удаленной, точке озвучения уровень прямого поля излучателя должен быть не менее чем в 2 раза выше уровня реверберационной составляющей поля, что является необходимым условием обеспечения хорошей разборчивости речи (особенно требуется выполнение этого условия в диапазоне средних и высоких частот);

2) разность хода по времени между соседними и каждыми последующими в цепочке громкоговорителями должна быть даже в точке максимального запаздывания в зоне восприятия звука не более 20 мс, что соответствует разности хода по расстоянию около 7 м (последнее условие предусматривает одинаковую мощность излучения всех источников звука).

Исходя из 1-го условия можно определить радиус действия прямого звука системы озвучения:

$$R_d \approx 0,1\sqrt{\frac{BD(\Theta)}{M}}, \qquad (4.20)$$

где B — постоянная помещения станции метрополитена, зависящая от диапазона частот (низкие, средние, высокие);

D(Θ) — показатель направленности излучателя на исследуемую точку в зависимости от угла Θ (в том же диапазоне);

M — общее число громкоговорителей в исследуемой зоне зала станции, на которое после предварительного анализа распределена минимально необходимая общая мощность озвучения и которое является оптимальным по геометрии зала станции метрополитена.

Учитывая, что величина постоянной станции уже определена акустическим расчетом, а параметр D(Θ) современных акустических систем хорошо известен, то варьируя величины R_d и М можно дополнительно оптимизировать распределение громкоговорителей по ограждениями зала станции.

Следующим этапом электроакустического расчета является расчет поля уровней и его неравномерности в зависимости от предварительного решения о размещении громкоговорителей на стенах или на сводах зала станции метрополитена (или на той и другой поверхностях); при этом каждый участок озвучиваемой одним громкоговорителем площадки аппроксимируется прямоугольником, размеры которого определяются высотой подвеса, наклоном акустических осей и эксцентриситетами эллипсоидов, моделирующих диаграмму направленности каждого громкоговорителя. Параметрами здесь являются предварительно выбранный тип громкоговорителя, его чувствительность, среднее стандартное звуковое давление и зависимость диаграммы направленности от частоты. Целью данного расчета является проверка точности предварительного расчета оптимального отношения сигнал/шум и достижение требуемой допустимой неравномерности поля ±3 дБ. Методика этих расчетов хорошо известна и подробно изложена в соответствующей справочной литературе.

В случае правильности проведенного расчета практически все зоны озвучиваемого зала станции метрополитена окажутся фактически в зоне действия прямого звука, уровень которого определяется следующим выражением:

$$L_{пр} = 20 \lg p_1 + 20 \lg D(\Theta) - 20 \lg(r / r_0) + 94, \quad (4.21)$$

где p_1 — среднее стандартное звуковое давление, развиваемое громкоговорителем на расстоянии r_0 = 1 м, Па.

Контрольные расчеты уровней звука по формулам (4.18)—(4.21) позволят проверить правильность выбранных типов, мест размещения и направленности акустических осей распределенной системы озвучения.

В заключение электроакустического расчета следует провести контрольный расчет разборчивости речи в зоне наихудших условий слухового восприятия, т.е. в месте минимального уровня прямого звука $L_{пр}(r)$.

При корректности всего проведенного перед этим расчета можно использовать упрощенный метод расчета разборчивости речи по 6 основным октавным полосам с центральными частотами: 1) 250 Гц; 2) 500 Гц; 3) 1000 Гц; 4) 2000 Гц; 5) 4000 Гц; 6) 8000 Гц. Последняя частота, строго говоря, должна относиться к центральной частоте 6000 Гц, соответствующей последней, 20-й полосе, равной разборчивости русской речи. Далее определяется уровень ощущения формант E в каждой полосе по следующей формуле:

$$E = L_р - L_ш, \quad (4.22)$$

где $L_р$ — расчетный уровень звука в данной зоне станции, дБ;

$L_ш$ — расчетный уровень шума в данной полосе частот, дБ.

Примечание — Форманты — это основные спектральные максимумы обобщенного спектра речи, совокупность которых определяет разборчивость передаваемой речевой информации.

Затем определяется коэффициент разборчивости в каждой полосе:

$$W = \frac{E + 6}{30}, \quad (4.23)$$

что позволяет определить формантную разборчивость (1—6 — номера октав):

$$A = 0,05[W_1 + 3W_2 + 4W_3 + 6W_4 + 5W_5 + W_6]. \quad (4.24)$$

По формантной разборчивости А определяется слоговая разборчивость S по таблице 4.2.

Общей задачей расчета должно быть достижение слоговой разборчивости речи во всех зонах станции метрополитена не менее 80 %.

При использовании в акустических расчетах обычно применяются два критерия разборчивости: RASTI (быстрая оценка индекса передачи речи) и D_{50} (индекс четкости). Значения первого из них не должны быть менее 0,75, а второго — не менее −3 дБ.

4.3.7 Акустическое и электроакустическое проектирование станций метрополитена завер-

Таблица 4.2 — **Зависимость слоговой разборчивости S от формантной разборчивости А**

А	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0.55	0,60	0,65	0,70	0,75	1.0
S, %	46	54	62,5	69	75	80	84	87	90	92,5	95,2	100

шается выводом данных (седьмой этап акустического проектирования по рисунку 4.2) по всем требуемым акустическим параметрам станции метрополитена с необходимыми рекомендациями по отделке и конфигурации ограждений, а также с требованиями по размещению и техническим характеристикам акустических систем для озвучения станции.

4.4 Методика акустической реконструкции действующих станций метрополитена

При подготовке к реконструкции действующих залов станций метрополитена, те из них, эксплуатация которых выявила акустический дискомфорт (что наблюдается на большинстве станций без мероприятий по шумозащите, повышенной гулкости зала станции и некорректным размещением системы громкоговорителей), нуждаются в разработке акустической части проекта реконструкции как неотъемлемой части общего проекта реконструкции зала станции.

Разработка проекта акустической реконструкции зала станции включает в себя следующие этапы.

4.4.1 Подготовительный этап, состоящий в ознакомлении на месте с акустической обстановкой зала станции, субъективной оценке уровней шумового фона и разборчивости информационной речи, подготовке и анализе масштабных чертежей зала станции метрополитена, подготовке и поверке измерительных комплектов приборов.

4.4.2 Натурное обследование акустических условий зала станции. Перед началом обследования необходимо провести разметку точек измерений с тем, чтобы они охватили все наиболее показательные и критичные в отношении акустики зоны, требующие обязательного акустического контроля, подробно указанные в предыдущем разделе.

Акустические измерения производятся в следующей последовательности.

4.4.2.1 Измерения октавных уровней звуковой мощности движущегося поезда при входе на станцию (при отсутствии соответствующих паспортных данных или данных специально проведенных измерений). Измерения проводятся в пустом зале станции с необходимой статистической выборкой.

4.4.2.2 Измерения шумового режима станции во всех отмеченных точках согласно ГОСТ 23337. Измерения проводятся в «час пик», при полном заполнении станции, при въезде на станцию 1—2 поездов и при их отсутствии. Полное количество точек измерений и продолжительность выборок должны соответствовать требуемой статистической погрешности результатов измерений.

4.4.2.3 Измерения времени реверберации проводятся в обязательном порядке в пустом зале станции согласно ГОСТ 24146. Для контрольных измерений времени реверберации могут быть использованы дополнительные данные измерений шумового фона на современных программируемых спектроанализаторах, имеющих соответствующие сменные модули. В последнем случае измерения проводятся в заполненном зале станции.

4.4.2.4 Комплекс электроакустических измерений, включающих измерения поля уровней, частотной характеристики передачи и неравномерности звукового поля в $^1/_3$-октавных (октавных) полосах частот. Все измерения проводятся в пустом зале станции, в номинальном режиме озвучения, при подаче на вход системы розового шума.

4.4.2.5 Испытания разборчивости речи на системе озвучения зала станции согласно ГОСТ 25902. При сложности организации артикуляционных испытаний на действующих станциях метрополитена допускается использование расчетного метода оценки разборчивости речи по формулам (4.21)—(4.23) на основании данных натурных измерений октавных уровней полезного сигнала и шума. Допускается также использование приборов и процессорных устройств, проводящих измерения разборчивости методом оценки индекса передачи речи (RASTI).

4.4.3 Лабораторная и камеральная обработка результатов измерений позволяет получить полную информацию о шумовых, акустических и электроакустических характеристиках зала станции метрополитена. Здесь необходимо учесть, что в связи с тем, что измерения времени реверберации и измерения поля уровней производились в пустом зале станции, при обработке результатов измерений следует вводить поправки на максимальное заполнение зала станции пассажирами в «часы пик». Для этого необходимо, используя формулу Эйринга, вводить путем обратного пересчета поправку $\Delta A_п$ из расчета 0,5 м^2/чел. согласно приложению Е. Это дает возможность рассчитать как время реверберации заполненного зала станции, так и поправки на снижение уровней звука при озвучении в соответствующих октавных полосах ΔL по следующим формулам:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A_п}{A_з}, \qquad (4.25)$$

где $A_п$ — общий фонд ЭЗП зала станции, полученный на осно-

ве измерений времени реверберации в пустом зале станции;

$A_з = A_п + \Delta A_{пас}$ — общий фон ЭЗП зала станции при максимальном заполнении пассажирами. Величина $\Delta A_{пас}$ равна:

$$\Delta A_{пас} = 2S_{пола}a_1(f), \qquad (4.26)$$

где $S_{пола}$ — площадь пола станции, м²;

$a_1(f)$ — ЭЗП стоящих пассажиров при плотности расстановки 0,5 м²/чел.

4.4.4 Анализ результатов измерений служит основанием для технического задания на разработку акустической части проекта реконструкции залов станций. При этом сама методика акустического проектирования здесь в принципе должна соответствовать общей структурной схеме (рисунок 4.2). Однако в данном случае должен учитываться фактор существования уже построенной станции с соответствующими конструкциями ограждений. Вследствие этого акустическая коррекция зала станции (этапы 2-й и 4-й по рисунку 4.2) должна быть совмещена в один этап, после завершения которого необходимо проведение контрольных акустических измерений. Также контрольные измерения должны быть произведены после завершения электроакустической коррекции зала станции.

4.5 Пример акустического проектирования зала станции в уровне посадочной платформы метрополитена

Рассматривается типовой проект зала станции в уровне посадочной платформы метрополитена мелкого заложения. Схематически план и продольный разрез зала станции изображены на рисунке 4.4. По общей форме зал станции близок к прямоугольному параллелепипеду с размерами в плане 162×17,6 м при общей высоте зала ~ 6 м; при этом ширина посадочной платформы составляет 10 м и высота кессонированного потолка над ней ~ 5 м. Станции такого типа получили достаточно широкое распространение.

Так как обследуемые залы не имеют разделяемых объемов, то несмотря на диспропорциональность их основных размеров расчеты времени реверберации T, общего фонда звукопоглощения А и постоянной помещения В следует проводить на основании формулы Эйринга.

Ниже в таблице 4.3 приведены результаты расчетов времени реверберации зала станции $T_0(f)$, среднего КЗП $\bar{\alpha}(f)$ и постоянной помещения $B_0(f)$. Интерьер зала станции в уровне посадочной платформы: пол — шлифованный камень, стены — гладкие плиты, потолок и своды — бетонные поверхности с побелкой и покраской. Здесь же, в четвертой строке приведены результаты измерений уровней звуковой мощности подвижного состава при входе на станцию $L_{max}(f)$. Все расчеты производились из условия минимального заполнения зала станции пассажирами (~ 6 чел/м²).

При этом средний радиус действия прямого звука R_0 согласно формуле (4.7) составлял величину порядка ≅ 12 м. Отсюда следует, что максимально неблагоприятными местами для восприятия речевой информации при подходе двух встречных поездов являются точки на оси зала станции, т.е. при $r_1 \approx 5$—7 м. Тогда расчет уровня шумового фона по формуле (4.6) для уровня L_{max} на полосе максимального излучения согласно таблице 4.3 при 500 Гц показывает величину $L_0 \cong 84{,}5$ дБ. Согласно же таблице 4.1 полученная величина оказывается для выбранной полосы частот больше на 6,5 дБ допустимой величины $L_{доп} = 78$ дБ. Учитывая, что практически вся платформа находится в зоне действия прямого звука, для расчета требуемого для достижения нормативного уровня шумового фона общего фона звукопоглощения $A_{треб}$ следует применить не упрощенную формулу (4.9), а проводить расчеты по вариации полной формулы (4.6). Соответствующие расчеты показали, что указанное условие выполняется при обеспечении постоянной помещения $B_{треб} \geq 2200$. Отсюда по формуле (4.2) следует, что средний КЗП зала станции должен возрасти до $\bar{\alpha} \geq 0{,}2$.

Таблица 4.3 — **Результаты расчетов величин T_0, $\bar{\alpha}_0$, B_0 и измерений уровней L_{max}**

Величины	f, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
T_0, с	2,6	2,3	2,1	2,0	1,9	1,7
$\bar{\alpha}_0$	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
B_0, м²	976	1077	1180	1286	1394	1505
L_{max}, дБ	86	91,5	99	97	86	77,5

Учитывая необходимость введения в интерьер зала станции звукопоглощающей отделки, надо отделать потолок над полом платформы стандартными звукопоглощающими плитами, имеющими КЗП 0,3—0,6 в диапазоне от низких к высоким частотам (см. приложение Д). Ниже, в таблице 4.4 приведены результаты

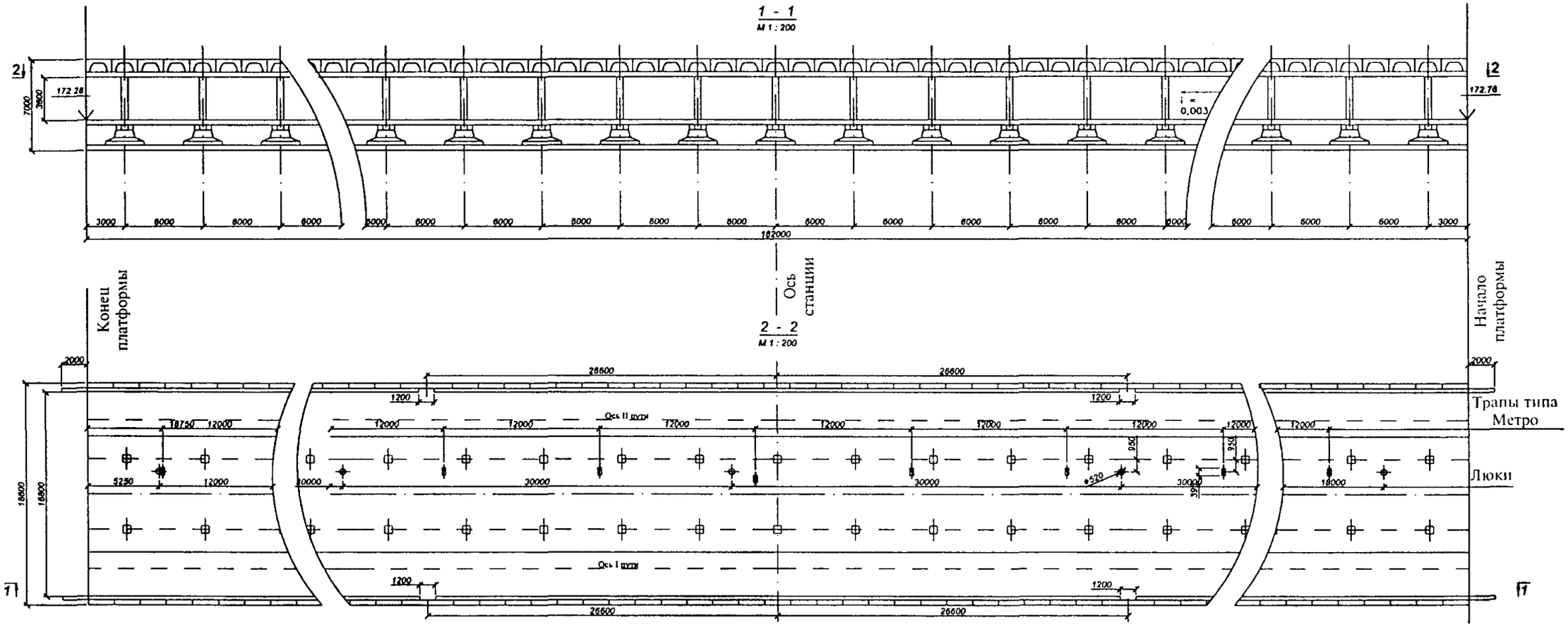


Рисунок 4.4 — Схематический план и продольный разрез зала станции метрополитена мелкого заложения

расчета среднего КЗП зала станции метрополитена $\bar{\alpha}_1(f)$, времени реверберации $T_1(f)$ и постоянной помещения зала станции $B_1(f)$, рассчитаны указанными выше методами при условии звукопоглощающей отделки потолка станции над платформой. В четвертой строке приведены также результаты расчетов уровней шумового фона по формуле (4.6).

Таблица 4.4 — **Результаты расчетов величин $\bar{\alpha}_1(f)$, $T_1(f)$, $B_1(f)$ и $L_ш(f)$**

Величины	f, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\bar{\alpha}_1(f)$	0,17	0,18	0,21	0,23	0,25	0,26
$T_1(f)$	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9
$B_1(f)$	1618	1734	2100	2360	2633	2776
$L_ш(f)$	70,0	75,5	83,0	81,0	70,0	71,5

Из сравнения уровней шумового фона, рассчитанных при звукопоглощающей отделке центральной части потолка станции метрополитена с допустимыми уровнями шума в соответствующих октавных полосах по таблице 4.1, следует, что в диапазонах 500—1000 Гц наблюдается существенное превышение нормативных уровней; критичным является также диапазон 4000 Гц, важный для обеспечения разборчивости речевой информации. Эффективное снижение уровней шума в диапазоне средних частот может быть достигнуто как снижением шума в источнике или же дополнительным эффективным заглушением ближних ограждений части потолка, расположенного над путями, и стен над путями (см. рисунок 4.3). Возможен также вариант с тщательной проработкой системы озвучения, с тем чтобы по всем зонам обеспечить существенное превалирование прямого звука и высокое отношение сигнал/шум.

Необходимым условием для этого является достижение оптимального значения времени реверберации зала станции, что, если сравнить данные таблицы 4.4 с зоной объемного оптимума на рисунке 4.1, обеспечено во всем диапазоне, кроме частот ниже 250 Гц. Последнее также должно быть учтено при расчете системы звукоусиления. Кроме того, сохранение полностью звукоотражающих поверхностей на всех стенах зала станции должно приводить к возникновению эффекта порхающего эха, который также может отрицательно повлиять на звукопередачу речевого сигнала. Вследствие всего изложенного при расчете системы звукоусиления необходимо обеспечить отношение сигнал/шум не менее 15 дБ по всем диапазонам частот во всех зонах зала станции, для чего требуемый по условию (4.18) уровень $L_{треб} = 100$ дБ должен быть создан при работе системы, как минимум в диапазонах частот 500—1000 Гц. Исходя из этого расчет минимально необходимой акустической мощности по формуле (4.18) при $T \cong 1{,}1—1{,}2$ с приводит к величине $P_{ак} \cong 5$ Вт, откуда по формуле (4.19) получим требуемую электрическую мощность $P_{эл} \cong 2500$ Вт. Современные широкополосные акустические излучатели средней мощности имеют $P_{эл} = 25$ Вт, откуда общее количество таких излучателей должно быть в зале станции не менее 100 шт. Одним из наиболее распространенных способов размещения излучателей в длинных и шумных залах станций является последовательная цепочка потолочных громкоговорителей, размещенных по центральной оси зала станции с шагом $l_1 = l/M$ (где l — длина зала, M — общее число излучателей), равным на данном объекте 15—16 м. Радиус действия прямого звука для слабо направленных источников звука (см. формулу (4.20)), у которых параметр $D(\Theta)$ обычно не превышает 10, составляет при $B \geq 2000$ величину порядка 2 м, что явно недостаточно. Вследствие этого рекомендуется разделить общую требуемую мощность излучения на 3 цепочки из высокосреднечастотных остронаправленных громкоговорителей мощностью 12,5 Вт, равномерно распределенных по центральной оси свода и верхней части стен (или, если это технически трудно осуществимо, по колоннам со стороны посадочных платформ). В этом случае максимальное удаление источника звука от головы пассажира в каждой точке зала станции не будет превышать 5 м при высокой концентрации верхних частот. Указанное условие обеспечит как требуемое отношение сигнал/шум, так и хорошую равномерность поля. Расчет разборчивости речи по формуле (4.24) показывает, что величина А повсеместно превышает 0,65, что обеспечивает слоговую разборчивость более 90 % (см. таблицу 4.2).

В заключение проведенного расчета необходимо отметить, что указанное массированное размещение громкоговорителей является необходимым условием обеспечения хорошей разборчивости речевой информации в зале исследованной станции; меньшее количество громкоговорителей может быть использовано только при условии покрытия звукопоглощающей отделкой не только центральной части свода, но и сводов, расположенных над путями, также верхней части стен.

5 МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ОТ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В МЕТРОПОЛИТЕНАХ

5.1 Общие положения

5.1.1 Настоящий Свод правил разработан на основе требований СН 2.2.4/2.1.8.562 [1], ГОСТ 12.1.036, ГОСТ 23337. При разработке Свода правил учтены рекомендации международного стандарта ИСО 1996/1 [17].

5.1.2 Оценку шума от движения поездов метрополитена в помещениях жилых зданий необходимо проводить для ночного и дневного времени суток. При этом измерения допускается выполнять только в дневное время при условии, что сигнал, регистрируемый при прохождении поезда, выделяется над уровнем фона не менее чем на 3 дБ.

5.1.3 Контролю шума от движения поездов метрополитена должно предшествовать определение влияния фонового шума. Если сигнал, регистрируемый при прохождении поезда, не выделяется над уровнем фона, оценку шума от движения поездов в соответствии с настоящим Сводом правил выполнить нельзя (см. 5.4.9).

5.2 Нормируемые параметры и допустимые уровни шума

5.2.1 Шум, создаваемый в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов метрополитена, носит непостоянный (прерывистый) широкополосный характер с выраженным преобладанием сигнала в полосе частот 22,5—90 Гц и повторяется с периодом, определяемым графиком движения поездов.

5.2.2 Нормируемыми параметрами шума в соответствии с настоящим Сводом правил являются:

- эквивалентный (по энергии) уровень звука $L_{A\ экв}$, дБА;
- максимальный уровень звука L_{Amax}, дБА.

Оценка шума на соответствие допустимым уровням должна проводиться одновременно по обоим параметрам $L_{A\ экв}$ и L_{Amax} (см. раздел 5.6).

5.2.3 Допустимые уровни шума, на соответствие которым должна проводиться оценка шумового воздействия в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов в метрополитенах, принимаются в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562 [1], ГОСТ 12.1.036 для дневного (с 7 до 23 ч) и ночного (с 23 до 7 ч) времени суток по таблице 5.1.

Таблица 5.1 — **Допустимые значения для оценки шумового воздействия на соответствие требованиям СН 2.2.4/2.1.8.562 [1], ГОСТ 12.1.036**

№ п.п.	Назначение помещения	Время суток	Эквивалентный уровень звука $L_{A\ экв,\ доп}$, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax,\ доп}$, дБА
1	Палаты больниц и санаториев, операционные больниц	День Ночь	35 25	50 40
2	Кабинеты врачей поликлиник, амбулаторий, диспансеров, больниц, санаториев	День	35	50
3	Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и других учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек	»	40	55
4	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	День Ночь	40 30	55 45
5	Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	То же	45 35	60 50
	Залы кафе, ресторанов, столовых	День	55	70
6 7	Торговые залы магазинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания	»	60	75

Примечание — При оценке уровней звука от действующих линий метрополитена открытого заложения применяется поправка к допустимым уровням + 5 дБ

5.3 Средства измерений

5.3.1 Измерение уровней звука следует проводить шумомерами, комбинированными измерительными системами или автоматическими устройствами, соответствующими классам 0, 1 или 2 и имеющими частотную коррекцию А по ГОСТ 17187.

Примечание — Предпочтение следует отдавать интегрирующим приборам, позволяющим непосредственно измерять эквивалентный (по энергии) уровень звука. Такими приборами являются, например, включенные в Государственный реестр средств измерений и допущенные к применению в Российской Федерации приборы, выпускаемые фирмами: «Bruel & Kjaer» (Дания) — интегрирующий шумомер типа 2232, анализатор типа 2260; «Larson-Davis» (США) — интегрирующий шумомер типа 814 и DSP80, анализатор типа D2800 (2900); «SVANTEK» (Польша) — шумомеры типов 943, 945, анализатор типа 912AE.

Допускается предварительная запись сигнала на измерительный магнитофон с последующей обработкой записанной информации.

5.3.2 Средства измерений должны иметь действующее свидетельство о поверке.

5.4 Условия и правила проведения измерений

5.4.1 Измерения уровней шума следует проводить по ГОСТ 23337.

5.4.2 Измерения проводят не менее чем в трех точках, равномерно распределенных по помещению не ближе 1 м от стен и не ближе 1,5 м от окон помещений на высоте 1,2—1,5 м от уровня пола.

5.4.3 При измерениях окна и двери должны быть закрыты; форточки и фрамуги при оценке линий метрополитена закрытого заложения — также закрыты, при оценке линий открытого заложения — открыты.

5.4.4 Во время измерений шума в помещении должен находиться только персонал, занятый измерением шума.

5.4.5 Измерительный микрофон должен быть направлен в сторону линии метрополитена и удален не менее чем на 0,5 м от оператора, проводящего измерение.

5.4.6 При проведении измерений максимального уровня звука $L_{A\,max}$ на приборе должна быть установлена динамическая характеристика «медленно» (τ = 1 с).

5.4.7 Измерения следует выполнять в периоды наиболее интенсивного движения поездов: с 7 до 9 ч или с 16 до 19 ч днем и с 6 до 7 ч ночью.

Допускается выполнять измерения в другое время дня, например характеризующееся наименьшими уровнями фонового шума, с последующим пересчетом значения эквивалентного уровня звука для режима наиболее интенсивного движения поездов (см. 5.5.3).

5.4.8 Время измерения T должно быть достаточным для регистрации непрерывной выборки, включающей не менее десяти событий прохождения поезда: $T \geq 3{,}5$—5 мин при измерениях в дневное время и $T \geq 3{,}5$—10 мин при измерениях ночью в зависимости от интервалов движения поездов на оцениваемой линии метрополитена.

5.4.9 Перед проведением измерений в каждой точке необходимо оценить влияние фонового шума в помещении. Для этого измеряют эквивалентный $L_{A\,экв}$ и максимальный $L_{A\,max}$ уровни звука за интервал времени T, а также $L^{(Ф)}_{A\,экв}$ и $L^{(Ф)}_{A\,max}$ фонового шума за время между прохождениями поездов. Вычисляют разности $\Delta L_{A\,экв} = L_{A\,экв} - \Delta L^{(Ф)}_{A\,экв}$ и $\Delta L_{A\,max} = L_{A\,max} - \Delta L^{(Ф)}_{A\,max}$.

При $\Delta L_{A\,экв} < 3$ дБ и $\Delta L_{Amax} < 3$ дБ оценку шумового воздействия от движения поездов метрополитена в соответствии с настоящим Сводом правил выполнить нельзя.

При $\Delta L_{A\,экв} < 3$ дБ, но $\Delta L_{Amax} \geq 3$ дБ оценку следует проводить по результатам измерения только L_{Amax}.

При $\Delta L_{A\,экв} \geq 3$ дБ и $\Delta L_{Amax} \geq 3$ дБ оценку следует проводить одновременно по измеренным значениям обоих параметров шума, при этом в значения $L_{A\,экв}$ должна быть внесена поправка на уровень фонового шума (см. 5.5.3).

Для повышения надежности результата целесообразно измерения $L^{(Ф)}_{A\,экв}$ повторить после выполнения измерений и усреднить по формулам из 5.5.2.

5.4.10 Выбирают точку с наибольшими значениями $L_{A\,экв}$ и L_{Amax}. Дальнейшие измерения (и обработку результатов) проводят в этой точке.

5.4.11 Присваивают результатам измерений $L_{A\,экв}$ и L_{Amax}, выполненным в выбранной точке, номер 1 и проводят еще $n - 1$ измерений (длительностью T каждое) эквивалентного и максимального уровней звука. Общее число n измерений выбирается из условия, чтобы суммарное время выполнения измерений уровней звука в точке было не менее 30 мин. ($T_m = nT \geq 30$ мин.).

Примечание — Допускается провести одно измерение эквивалентного и максимального уровней звука длительностью $T_m \geq 30$ мин.

5.4.12 До и после проведения измерений следует выполнять калибровку средств измерений в соответствии с инструкциями по их эксплуатации. Если результаты калибровки различаются более чем на 1 дБ, измерения следует повторить.

5.5 Обработка результатов измерений

5.5.1 Из n измеренных значений максимального уровня звука $L_{Amax,i}$, i = 1, 2, ..., n, выбирают наибольшее значение $L_{Amax,R}$ и принимают его в качестве значения максимального уровня звука за время оценки шумового воздействия.

5.5.2 По n измеренным значениям эквивалентного уровня звука $L_{A\ экв,i}$, i = 1, 2, ..., n, рассчитывают средний эквивалентный уровень звука $\bar{L}_{A\ экв}$ за суммарное время выполнения измерений T_m по формуле

$$\bar{L}_{A\ экв} = 10\lg\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{0,1L_{A\ экв,i}}\right). \qquad (5.1)$$

Примечание — Если разница между наибольшим и наименьшим из измеренных значений $L_{A\ экв,i}$ не превышает 5 дБ, средний эквивалентный уровень звука может быть вычислен по формуле

$$\bar{L}_{A\ экв} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}L_{A\ экв,i}. \qquad (5.2)$$

5.5.3 Эквивалентный уровень звука, характеризующий шумовое воздействие в течение 30 мин. реализации режима наиболее интенсивного движения поездов, вычисляют по формуле

$$L_{A\ экв,M} = \bar{L}_{A\ экв} + K + 10\lg\left(\frac{n_{T,max}}{n_T}\right) + 10\lg\left(\frac{T_m}{T_0}\right) - 15, \qquad (5.3)$$

где K — поправка на уровень фонового шума, дБ;

$n_{T,max}$ и n_T — числа событий прохождения поезда за 30 мин. в режиме наиболее интенсивного движения поездов и за время T_m в режиме, в котором выполнены измерения;

T_0 = 1 мин.

Значение поправки K принимают в зависимости от разности $\Delta L_{A\ экв}$ уровней измеряемого и фонового шума (см. 5.4.9):

$\Delta L_{A\ экв}$, дБ	... 3	4—5	6—9	10 и более
K, дБ	..... −3	−2	−1	0

5.5.4 Эквивалентный уровень звука за время оценки шумового воздействия (16 ч днем и 8 ч ночью) вычисляют по формуле

$$L_{A\ экв,R} = \bar{L}_{A\ экв} + 10\lg\left(\frac{T_m}{T_0}\right) - 10\lg n_T - C, \qquad (5.4)$$

где C — постоянная, учитывающая продолжительность оценки шумового воздействия и число событий прохождения поезда за время оценки шумового воздействия, дБ.

Значения постоянной C определяют по приложению Ж.

5.6 Оценка шумового воздействия

Оценку шумового воздействия в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов метрополитена на соответствие требованиям СН 2.2.4/2.1.8.562 и ГОСТ 12.1.036 выполняют посредством сравнения определенных по 5.5.1 и 5.5.3 значений максимального $L_{Amax,R}$ и эквивалентного $L_{Amax,M}$ уровней звука с допустимыми значениями, приведенными в таблице 5.1.

При $L_{A\ экв,M} \le L_{A\ экв,доп}$ и $L_{Amax,R} \le L_{Amax,доп}$ требования норм выполнены.

При $L_{A\ экв,M} > L_{A\ экв,доп}$ или $L_{Amax,R} > L_{Amax,доп}$ требования норм не выполнены.

С целью накопления опыта и углубленного изучения акустической обстановки в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов метрополитена допускается дополнительно проведение оценки эквивалентного значения уровня звука $L_{A\ экв,R}$, характеризующего воздействие за дневное (16 ч) и ночное (8 ч) время.

5.7 Представление результатов

Результаты измерений оформляют протоколом, который должен содержать следующие сведения:

- организация, проводившая измерения;
- линия метрополитена, поезда которой являются источниками оцениваемого шума;
- место проведения измерений (здание, этаж, квартира);
- дата и время проведения измерений;
- средства измерений (прибор, тип, заводской номер, сведения о госповерке);
- план помещения с нанесением точек измерения;
- результаты измерений (осциллограмма, время одного измерения и общее время проведения измерений, число событий прохождения поезда за время одного измерения, таблица максимальных и эквивалентных уровней звука фонового и суммарного шума, номер точки, в которой зарегистрированы наибольшие значения уровней звука, число измерений в выбранной точке);
- время оценки (день, ночь);
- результаты обработки измеренных значений уровня звука ($L_{Amax,R}$, $\bar{L}_{A\ экв}$, $L_{A\ экв,M}$, $L_{A\ экв.R}$);
- заключение по результатам оценки;
- подписи лиц, проводивших измерения и оценку шумового воздействия.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

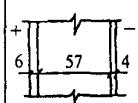
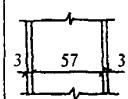
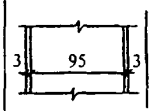
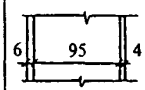
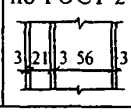
ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ШУМОЗАЩИТНЫХ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

А.1 Для обеспечения требуемой звукоизоляции наружного ограждения необходимо в первую очередь выбрать конструкцию окон или других светопрозрачных ограждений с необходимыми звукоизолирующими качествами. При выборе конструктивного решения окон следует учитывать требования к воздухообмену проектируемого здания.

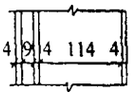
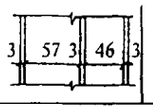
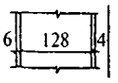
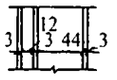
Обычные конструкции окон с естественной вентиляцией через открытые форточки или узкие створки обеспечивают нормальный шумовой режим в помещении, если уровни внешнего шума в 2 м от наружного ограждения не превышают допустимых уровней, установленных санитарными нормами [1]. В противном случае возникает необходимость применения специальных шумозащитных окон с вентиляционными элементами, которые обеспечивают снижение внешнего шума до нормы и одновременное нормативное поступление воздуха в помещение.

А.2 Характеристики звукоизоляции стандартных деревянных окон (в закрытом положении), глухих металлических остекленных витражей, шумозащитных вентиляционных окон (в режиме вентиляции и в закрытом положении), а также некоторых специальных конструкций окон с повышенной звукоизоляцией в закрытом положении приведены в таблице А.1. Характеристики дверей с повышенной звукоизоляцией приведены в таблице А.2.

Таблица А.1 — **Снижение транспортного шума ΔL, дБА, различными конструкциями окон**

	Тип конструкции окна Схема остекления	Формула остекления, мм	Снижение транспортного шума ΔL, дБА	
			В закрытом положении	В открытом положении
1	Спаренная по ГОСТ 11214 	6+57+4	28	15
2	Спаренная по ГОСТ 11214 	3+57+3	24	15
3	Раздельная по ГОСТ 11214 	3+95+3	28	15
4	Раздельная по ГОСТ 11214 	6+95+4	31	15
5	Раздельная со стеклопакетом (СП) и стеклом по ГОСТ 24699 	(3+21+3)+56+3	33	15

Окончание таблицы А.1

	Тип конструкции окна Схема остекления	Формула остекления, мм	Снижение транспортного шума ΔL, дБА	
			В закрытом положении	В открытом положении
6	Раздельная со стеклопакетом (СП) и стеклом ДОК-1, ДОК-6 ОАО МПСМ 	(4+9+4)+114+4	34[1)]	15
7	Раздельно-спаренная по ГОСТ 11214 	3+57+3+46+3	33	15
8	Раздельная 2РШ по альбому РМ-1372 доп. 1 с клапаном-глушителем КГ-9 (МНИИТЭП) 	6+128+4	39	30
9	Со стеклом и стеклопакетом в одинарном переплете («Барановичидрев») 	(3+12+3)+44+3	33	15
10	С двухкамерным стеклопакетом с вентклапаном «Аэромат-80» 	4+12+4+12+4	31	28
11	С двухкамерным стеклопакетом «Евроокно» (ДОК-3, ОАО МПСМ) 	4+8+4+8+4	30	15
12	Со стеклопакетом (ОАО МПСМ) 	4+20+4	25[1]	15
13	Дерево-алюминиевое с СП и стеклом (ОАО «Заречье») 	(5+15+5)+46+5	33	15
14	Остекление балконов и лоджий 	3	17[2]	7[2]

[1] По данным изготовителей.

[2] При расчетах суммируется со значениями снижения транспортного шума ΔL (дБА) окон.

Таблица А.2 — **Двери с повышенной звукоизолирующей способностью R_A, дБА**

Конструкция полотна двери	Условия прилегания полотна по периметру притвора	Звукоизоляция, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						R_A, дБА
		125	250	500	1000	2000	4000	
Стандартное дверное полотно толщиной 40 мм	Через прокладку из пенополиуретана сечением 10×5 мм. Через прокладку из пористой резины сечением 14×3 мм	18 21	21 25	24 25	24 26	23 26	27 23	21 21
То же, обитое дерматином по минеральному войлоку	Уплотняющий валик на дверной коробке	20	26	29	32	35	36	26
Дверное полотно с наплывом, составленное из двух наружных листов фанеры и одного листа асбестоцемента по 6 мм каждый и двух промежуточных слоев стекловолокна по 10 и 50 мм	Через два ряда прокладок из пористой резины	21	25	31	37	39	35	27
Двойная дверь с тамбуром шириной 30 см (конструкция двери — см. предыдущий пункт)	Через два ряда прокладок из пористой резины	31	29	36	46	49	42	34
Дверное полотно, составленное из трех стальных плит толщиной 2,2 и 3 мм, слоя песка 20 мм, стекловолокна 41 мм и резины 4 мм	Через прокладки из пористой резины	38	34	44	46	50	55	39

А.3 Из факторов, влияющих на звукоизоляционные свойства окон с двойным остеклением, решающими являются толщины стекол и воздушного промежутка между ними. В спаренных и раздельных окнах увеличение толщины одного из стекол с 3 до 6 мм позволяет получить звукоизоляцию на 3 дБА выше. Увеличение вдвое толщины обоих стекол повышает звукоизоляцию примерно на 5 дБА.

При наличии уплотняющих прокладок увеличение воздушного промежутка способствует повышению звукоизоляции на несколько дБА. Однако следует учитывать, что возможность повышения звукоизоляции окон за счет увеличения воздушного промежутка лимитируется толщиной наружных стен здания.

А.4 Важное значение имеет обеспечение герметичности притворов окон. Например, если обычное спаренное окно с одной прокладкой имеет звукоизоляцию 26 дБА, то без прокладки она снижается до 21 дБА. Для эффективной работы уплотняющих прокладок необходимо обеспечить надлежащее их обжатие, что достигается использованием натяжных запирающих приборов. Наиболее широко применяемые прокладки из пенополиуретана достаточно эффективны, однако имеют относительно небольшой срок службы. Значительно долговечнее прокладки из пористой резины или резиновые прокладки лепесткового типа.

А.5 При установке стекол (стеклопакетов) в створке окон необходимо обеспечивать плотное их примыкание к элементам створок.

А.6 При применении окон с тройным остеклением следует учитывать специфику работы этих конструкций. При установке среднего стекла в середине воздушного промежутка звукоизоляция окна не только не повышается, но даже несколько ухудшается в наиболее важной для защиты от транспортного шума низкочастотной области. При смещении среднего стекла в сторону одного из крайних стекол звукоизоляция тройного остекления возрастает, приближаясь к звукоизоляции двойного остекления с той же суммарной толщиной стекол. Оптимальными являются конструкции, в которых среднее стекло приближено к одному из крайних, например окно с раздельными переплетами, остекленное стеклом и стеклопакетом; это позволяет удачно сочетать теплофизические и акустические параметра окна.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

УРОВНИ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ ШУМА, ГЕНЕРИРУЕМОГО В ШУМОГЛУШИТЕЛЯХ

Данные о собственном шумообразовании в глушителях сечением 0,5×0,8 = 0,4 м^2 с пластинами толщиной 100 и 200 мм приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1 — **Уровни звуковой мощности шума, генерируемого в глушителях ($\varphi_{св}$ = 0,5) [4]**

Форма пластин	Толщина пластин, мм	Скорость потока в глушителе, м/с	Уровень звуковой мощности L_p, дБ, в октавных полосах частот, Гц							
			63	1125	2250	500	1000	2000	4000	8000
Без обтекателей	200	10	47	48	48,5	50,5	47,5	41	32	23,5
		15	55	56,5	55,5	57,5	57,5	54,5	46	38,5
		20	61	62,5	61,5	62	62,5	62	57,5	50
С цилиндрическими обтекателями только на входе	200	10	44	45,5	48,5	48	45	38,5	28,5	21,5
		15	53	54	55,5	57,5	56,5	54	46	35,5
		20	58,5	60	60,5	61	61	59,5	52,5	44,5
С цилиндрическими обтекателями на входе и призматическими на выходе	200	10	44	45,5	45	44,5	40	33	24,5	19
		15	52	53	52,5	54,5	53	49,5	41	30,5
		20	57	58	57,5	59	59,5	57	51	41,5
Без обтекателей	100	10	44	44	47,5	48,5	46	39	29	24,5
		15	53	54	54	58	58	55	48,5	39,5
		20	58	59,5	59	61	63	61	56	48
С цилиндрическими обтекателями на входе	100	10	44	45	48	48	44,5	37	25	22
		15	52	53	53,5	56,5	56	53	44,5	32,4
		20	57	58	58,5	61	62	60,5	54,5	44
С цилиндрическими обтекателями на входе и призматическими на выходе	100	10	43	44	45	46	44	36,5	23	21
		15	50	51	52,5	56,5	57,5	54	43	30,5
		20	56	57	58,5	61	62	60	53,5	43

Примечания

1 Звуковая мощность собственного шума глушителя практически не зависит от его длины, а определяется конструкцией глушителя.

2 Периметр звукопоглощающих конструкций поперечного сечения глушителей составляет при толщине пластин 200 мм — 2 м, при толщине 100 мм — 4 м.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ЭКРАНОВ

В.1 Необходимая акустическая эффективность экранов обеспечивается варьированием их высоты, длины, расстояния между источником шума и экраном.

В.2 Снижение уровня звука экраном-стенкой в расчетных точках, расположенных на геометрической границе звуковой тени, т. е. на продолжении прямой линии, соединяющей акустический центр источника шума с вершиной экрана, составляет 5 дБА. Для обеспечения более высокой акустической эффективности вершина экрана должна возвышаться над прямой линией, соединяющей акустический центр источника шума с расчетной точкой.

В.3 Для увеличения акустической эффективности экрана и уменьшения его высоты расстояние между источником шума и экраном рекомендуется принимать минимальным с учетом обеспечения безопасности движения и нормальной эксплуатации дороги и транспортных средств.

В.4 Ориентировочные величины снижения уровня звука протяженными экранами-стенками на высоте 1,5 м от уровня поверхности территории при расстоянии между краем проезжей части дороги и экраном, равном 3 м, приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 — **Снижение уровня звука протяженными экранами-стенками**

Расстояние между экраном и расчетной точкой, м	Высота экрана, м	Снижение уровня звука экраном, дБА
10	2	7
	4	12
	6	16
20	2	7
	4	12
	6	15
50	2	7
	4	11
	6	14
100	2	7
	4	11
	6	13

Значения акустической эффективности, приведенные в таблице В.1, сохраняются при угле видимости экранированного участка улицы из расчетной точки α, равном не менее 160°.

В.5 Для уменьшения высоты экрана-стенки рекомендуется применять комбинированные экраны, состоящие из земляной насыпи или кавальера со стенкой поверху или из выемки со стенкой на бровке.

В.6 Материал для изготовления экранов следует подбирать исходя из конструктивных и экономических соображений (бетон, дерево, сталь, алюминий, пластик и др.). При этом поверхностная плотность экрана-стенки должна быть не менее 20 кг/м^2.

В.7 Конструктивные решения экранов, предназначенных для установки на улицах или дорогах с двусторонней застройкой, должны предусматривать наличие звукопоглощающих облицовок. Звукопоглощающие материалы, используемые для облицовки экранов, должны обладать стабильными физико-механическими и акустическими показателями в течение всего периода эксплуатации. Они должны быть биостойкими и влагостойкими, не выделять в окружающую среду вредных веществ в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации для атмосферного воздуха. Для увеличения эффективности звукопоглощающие материалы должны крепиться на жестком основании непосредственно на поверхности экрана. Для защиты звукопоглощающего материала от попадания влаги необходимо предусматривать защитное покрытие в виде пленки. Снаружи экран со звукопоглощающей облицовкой должен защищаться перфорированными листами из алюминия, стали или пластика.

Подбор звукопоглощающих материалов и защитных покрытий, а также параметров облицовок следует производить в соответствии с рекомендациями, изложенными в СНиП 23-03.

В.8 Конструкции отдельных элементов экранов должны обеспечивать плотное их примыкание друг к другу для создания акустически непрозрачного экрана, без щелей и отверстий.

В.9 Экраны должны быть долговечными, стойкими к атмосферным воздействиям и вредному влиянию выхлопных газов, рассчитаны на сейсмические и ветровые нагрузки; должны быть транспортабельными, простыми при возведении, монтаже и эксплуатации, а также должны отвечать эстетическим требованиям.

В.10 В качестве экранов могут использоваться здания различного назначения. Наиболее эффективными экранами являются здания, располагаемые вдоль магистральных улиц в виде сплошной фронтальной застройки. Величина снижения уровня звука, обеспечиваемого экранами-зданиями, может достигать 25—30 дБА.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(рекомендуемое)

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИМ МАТЕРИАЛАМ И КОНСТРУКЦИЯМ, ДОПУСКАЕМЫМ К ПРИМЕНЕНИЮ НА СТАНЦИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА

Для достижения высоких коэффициентов звукопоглощения акустических конструкций, как показывает опыт их использования, толщина плит должна быть не менее 80—100 мм. Кроме того, акустические плиты должны удовлетворять следующим физико-техническим и эксплуатационным требованиям:

- иметь представительный внешний вид, отвечающий требованиям декоративности интерьера, т.е. архитектурному проекту станции метрополитена;
- обладать коэффициентом формы, позволяющим создавать изогнутые (криволинейные) поверхности звукопоглощающей облицовки;
- обеспечить выполнение противопожарных требований — быть негорючими и не способствовать распространению огня;
- быть термо- и влагостойкими, сохранять свои звукопоглощающие свойства в течение всего периода эксплуатации;
- допускать возможность очистки, в том числе и влажным способом, и сохранять свой первоначальный цвет;
- не выделять в воздух помещения никаких химических и физических вредных воздействий, опасных для здоровья людей, в том числе и возможных осколков, волокон или «корольков»;
- обеспечивать легкость монтажа и возможность, в случае необходимости, замены отдельных поврежденных элементов облицовки.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(справочное)

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Таблица Д.1 — **Строительные материалы конструкции [18]**

Материалы и конструкции	Коэффициенты звукопоглощения на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Бетон с железнением поверхности	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Бетонное основание рельсового пути[1]	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Бетон окрашенный	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Штукатурка по металлической сетке	0,04	0,05	0,06	0,08	0,05	0,05
Мрамор, гранит и другие каменные породы шлифованные	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Травертин	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
Метлахская плитка	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Эскалаторные (лестничные) проемы[1]	0,03	—	0,04	—	0,05	—
Проемы в тоннеле[1]	1,0	—	0,9	—	0,9	—

[1] Данные КЗП нуждаются в дополнительной экспериментальной проверке.

Таблица Д.2 — **Некоторые акустические конструкции**

Тип конструкции	Коэффициенты звукопоглощения на частотах, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Слой пористо-волокнистого материала[1] толщиной 100 мм, покрытый стеклотканью и перфорированным металлическим экраном толщиной 1,2 мм, с коэффициентом перфорации 24 %, диаметром отверстий 5,5 мм:						
- без воздушного относа	0,3	0,9	0,99	0,99	0,99	0,95
- с воздушным относом 200 мм	0,47	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Слой пористо-волокнистого материала[1] толщиной 100 мм, покрытый стеклотканью, размещенный без воздушного относа за панелями из просечно-вытяжного листа толщиной 1 мм, с коэффициентом перфорации 74 %	0,35	0,75	0,99	0,95	0,9	0,9
Панели профилированного стального настила с заполнением широких гофров пористо-волокнистым материалом[1] толщиной 80 мм и оклейкой по ребрам стеклотканью, на воздушном относе 100 мм	0,45	0,87	0,99	0,99	0,99	0,97

[1] Слой пористо-волокнистого материала: минераловатные плиты плотностью 80—100 кг/м^3 или супертонкое стекловолокно плотностью 15 кг/м^3.

Примечание — Полная номенклатура звукопоглощающих материалов и конструкций приведена в Справочнике [19]; данные по объемным звукопоглотителям приведены в Руководстве [16].

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(справочное)

ЭКВИВАЛЕНТНОЕ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ ПАССАЖИРОВ НА СТАНЦИИ. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА *n* ДЛЯ УЧЕТА ПОГЛОЩЕНИЯ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 20 °С

Таблица Е.1 — **Эквивалентное звукопоглощение пассажиров в уровне посадочной платформы станции метрополитена, м^2.**

Плотность расстановки пассажиров	Частота, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
6 м^2/чел.	0,15	0,23	0,61	0,97	1,1	1,1
3 м^2/чел.	0,13	0,21	0,48	0,81	0,96	1,0
1 м^2/чел.	0,11	0,2	0,32	0,66	0,81	0,89
0,5 м^2/чел.	0,1	0,18	0,28	0,59	0,65	0,72
0,25 м^2/чел.	0,07	0,16	0,26	0,45	0,54	0,6

Таблица Е.2 — **Значения коэффициента *n*, м$^{-1}$, для учета поглощения звука в воздухе при температуре 20 °С**

Относительная влажность воздуха, %	Частота, Гц	
	2000	4000
30	0,012	0,038
40	0,010	0,029
50	0,010	0,024
60	0,009	0,022
70	0,008	0,021
80	0,008	0,020
90	0,008	0,020

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(обязательное)

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО УРОВНЯ ЗВУКА ЗА ВРЕМЯ ОЦЕНКИ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Ж.1 В силу дискретного характера шума, создаваемого движением поездов метрополитена, эквивалентный уровень звука за время оценки можно определить по формуле[2]

$$L_{\text{А экв},R} = 10\lg\left(\frac{T_0}{T_R}\sum_{i=1}^{N}10^{0,1L_{\text{AE}i}}\right), \qquad \text{(Ж.1)}$$

где $L_{\text{AE}i}$ — уровень звуковой экспозиции шума от прохождения i-го поезда, дБА;
N — число событий прохождения поезда за время T_R оценки шумового воздействия;
$T_0 = 1$ с.

Ж.2 Представляя шумовое воздействие от движения поездов метрополитена в виде циклического процесса, состоящего из набора N одинаковых дискретных событий, характеризуемых средним значением уровня звуковой экспозиции $\bar{L}_{\text{AE}}$ шума от прохождения поезда, формулу (Ж.1) можно переписать в виде

$$L_{\text{А экв},R} = \bar{L}_{\text{AE}} - C, \qquad \text{(Ж.2)}$$

где постоянная C задается формулой

$$C = 10\lg\left(\frac{T_R}{T_0}\right) - 10\lg N. \qquad \text{(Ж.3)}$$

Пример — Значения постоянной С для различных линий Московского метрополитена, вычисленные для дневного ($T_R = 16$ ч) и ночного ($T_R = 8$ ч) времени оценки шумового воздействия с учетом графика движения поездов, приведены в таблице Ж.1 (для удобства вычислений принято $T_0 = 1$ мин.).

Таблица Ж.1 — **Значения постоянной C для линий Московского метрополитена**

	Значение С, дБ, для линии									
Время оценки	Сокольническая	Замоскворецкая	Арбатско-Покровская	Филевская	Кольцевая	Калужско-Рижская	Таганско-Краснопресненская	Калининская	Серпуховско-Тимирязевская	Люблинская
День с 7 ч до 23 ч	0	0	1	2	0	0	1	2	1	3
Ночь с 23 ч до 7 ч	7	4	6	8	6	5	6	8	7	8

Ж.3 Значение $\bar{L}_{\text{AE}}$ связано с эквивалентным уровнем звука $\bar{L}_{Aeq}$, характеризующим шумовое воздействие за время реализации режима движения поездов, в котором выполнены измерения, формулой

$$\bar{L}_{\text{AE}} = \bar{L}_{\text{А экв}} + 10\lg\left(\frac{T_m}{T_0}\right) - 10\lg n_T, \qquad \text{(Ж.4)}$$

где T_m — общее время выполнения измерений, мин, выбираемое по п. 5.4.11;
n_T — число событий прохождения поезда за время измерения T_m.

Выражения (5.3) и (5.4) в 5.5.3 и 5.5.4 следуют из подстановки выражения (Ж.4) в (Ж.2) и перехода к заданию временных параметров в минутах.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(справочное)

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: Санитарные нормы.

[2] ИСО 9613-1: 1993 Акустика. Затухание звука при распространении на открытом воздухе. Часть 1. Расчет звукопоглощения в атмосфере.

[3] ИСО 9613-2: 1996 Акустика. Затухание звука при распространении на открытом воздухе. Часть 2. Общий метод расчета.

[4] Руководство по расчету и проектированию шумоглушения вентиляционных установок / НИИСФ Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1982.

[5] Руководство по учету в проектах планировки и застройки городов требований снижения уровней шума / ЦНИИП градостроительства. — М.: Стройиздат, 1984.

[6] Рекомендации по расчету и проектированию звукоизолирующих ограждений машинного оборудования / НИИСФ Госстроя СССР. — М.: Стройиздат, 1989.

[7] Вентиляторы общего и специального назначения: Каталог продукции / ОАО Мовен, 2001, ч. 1, вып.1. Вентиляционное оборудование 98/99. «SALDA», Шяуляй,1988.

[8] Рекомендации по применению в промышленных зданиях эффективных шумоглушащих конструкций и устройств / НИИСФ Госстроя СССР. – М., 1988.

[9] Градостроительные меры борьбы с шумом. — М., 1975.

[10] Защита от шума в градостроительстве: Справочник проектировщика / Под ред. Осипова Г.Л. — М.: Стройиздат, 1993.

[11] Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Осипова Г.Л., Юдина Е.Я. — М.: Стройиздат, 1987.

[12] Handbook of acoustical measurements and noise control. Edited by Harris C.M. Third edition, Acoustical Society of America, Woodbury, NY, 1998. (Справочник по акустическим измерениям и контролю шума / Под ред. С. Харриса. Нью-Йорк, Акустическое общество Америки, 1998).

[13] Руководство по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума. — М.: Стройиздат, 1982.

[14] Альбом сооружений на автомобильных дорогах для защиты окружающей среды от транспортных загрязнений. — Балашиха: Союздорнии, 1966.

[15] Пособие к МГСН 2.04-97 «Проектирование защиты от транспортного шума и вибраций жилых и общественных зданий» / Правительство Москвы, Москомархитектура. — М., 1999.

[16] Руководство по акустическому проектированию объемных звукопоглотителей. — М.: Стройиздат, 1984.

[17] ISO 1996/1:1982 Акустика. Описание и измерение окружающего шума. Часть 1. Основные величины и методы.

[18] Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости. — М.: Стройиздат, 1972.

[19] Справочник по защите от шума и вибраций жилых и общественных зданий. — К.: Будивэльнык, 1989.

Примечание — Копии с оригиналов стандартов [2], [3], [17] на английском языке распространяет ВНИИКИ Адрес: Россия, 103001, Москва, Гранатный пер., 4, тел.: (095) 290-50-90.

УДК 625(083.13)

Ключевые слова: снижение уровня звукового давления, отражение звука, строительно-акустические мероприятия, акустическое проектирование, акустическая реконструкция

Издание официальное

ГОССТРОЙ РОССИИ

СВОД ПРАВИЛ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ

СП 23-104-2004

Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена

Зав. изд. отд. *Л.Ф. Калинина*
Редактор *И.А. Рязанцева*
Технический редактор *Т.М. Борисова*
Корректоры: *В.В. Ковачевич, И.Н. Грачева*
Компьютерная верстка *А.Н. Кафиева*

Подписано в печать 20.05.2004. Формат 60×84 1/8.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,4.
Тираж 1000 экз. Заказ № 1018.

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центр проектной продукции в строительстве» (ФГУП ЦПП)
127238, Москва, Дмитровское ш., 46, корп. 2.
Тел/факс: (095) 482-42-65 — приемная.
Тел.: (095) 482-42-94 — отдел заказов;
(095) 482-41-12 — проектный отдел;
(095) 482-42-97 — проектный кабинет.

Шифр подписки 50.2.23

gost.e-ecolog.ru