56

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(МИНСТРОЙ РОССИИ)

ПРИКАЗ

от "14" ноября 2017 г. № 1540/пр

Москва

Об утверждении свода правил «Защита от шума объектов метрополитена. Правила проектирования, строительства и эксплуатации»

В соответствии с Правилами разработки, утверждения, опубликования, изменения и отмены сводов правил, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 1 июля 2016 г. № 624, подпунктом 5.2.9 пункта 5 Положения о Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2013 г. № 1038, пунктом 48 Плана разработки и утверждения сводов правил и актуализации ранее утвержденных строительных норм и правил, сводов правил на 2016 г. и плановый период до 2017 г., утвержденного приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 марта 2016 г. № 128/пр с изменениями, внесенными приказами Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 мая 2016 г. № 330/пр, от 2 августа 2016 г. № 538/пр, от 29 августа 2016 г. № 601/пр, от 9 января 2017 г. № 1/пр, **п р и к а з ы в а ю:**

1. Утвердить и ввести в действие через 6 месяцев со дня издания настоящего приказа прилагаемый свод правил «Защита от шума объектов метрополитена. Правила проектирования, строительства и эксплуатации».

2. Департаменту градостроительной деятельности и архитектуры:

а) в течение 15 дней со дня издания приказа направить утвержденный свод правил «Защита от шума объектов метрополитена. Правила проектирования, строительства и эксплуатации» на регистрацию в национальный орган Российской Федерации по стандартизации;

gost.e-ecolog.ru

б) обеспечить опубликование на официальном сайте Минстроя России в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» текста утвержденного свода правил «Защита от шума объектов метрополитена. Правила проектирования, строительства и эксплуатации» в электронно-цифровой форме в течение 10 дней со дня регистрации свода правил национальным органом Российской Федерации по стандартизации.

3. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на заместителя Министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации Х.Д. Мавлиярова.

Министр М.А. Мень

УТВЕРЖДЕН
приказом Министерства строительства и
жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации
от «14» ноября 2017 г. № 1540/пр

ЗАЩИТА ОТ ШУМА ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Издание официальное

Москва 2017

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ СП 353 .1325800.2017

ЗАЩИТА ОТ ШУМА ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. Правила проектирования, строительства и эксплуатации

Издание официальное

РОССТАНДАРТ
ФГУП
«СТАНДАРТИНФОРМ»
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ФОНД СТАНДАРТОВ
Подписано в печать 25 мая 2018 г.

Москва 2017

В НАБОР

Предисловие

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛЬ – федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)

4 УТВЕРЖДЕН приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14 ноября 2017 г. № 1540/пр и введен в действие с 15 мая 2018 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в установленном порядке. Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте разработчика (Минстрой России) в сети Интернет

© Минстрой России, 2017

Настоящий свод правил на может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минстроя России

Содержание

1 Область применения
2 Нормативные ссылки
3 Термины и определения
4 Акустические расчеты и выбор мероприятий по снижению шума на селитебной территории от источников, расположенных на наземных объектах метрополитенов
4.1 Общие положения
4.2 Выбор расчетных точек
4.3 Расчет ожидаемых уровней шума от стационарных объектов
4.4 Расчет ожидаемых уровней звука от движущихся объектов
4.5 Порядок подбора мероприятий по обеспечению требуемого снижения шума
5 Акустическое проектирование станций метрополитена
5.1 Общие положения
5.2 Перечень нормируемых параметров
5.3 Методика акустического проектирования строящихся и вновь создаваемых станций метрополитена
5.4 Методика акустической реконструкции действующих станций Метрополитена
5.5 Пример акустического проектирования зала станции в уровне посадочной платформы метрополитена
5.6 Методика акустического проектирования при помощи программных средств
6 Методы измерения и оценки шума в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов в метрополитенах
6.1 Общие положения
6.2 Нормируемые параметры и допустимые уровни шума
6.3 Средства измерений
6.4 Условия и правила проведения измерений
6.5 Обработка результатов измерений
6.6 Оценка шумового воздействия
6.7 Представление результатов
Приложение А Звукоизолирующая способность шумозащитных наружных ограждений
Приложение Б Уровни звуковой мощности шума, генерируемого в шумоглушителях
Приложение В Звукоизоляция объектов с помощью экранов
Приложение Г Общие требования к звукопоглощающим материалам и конструкциям, допускаемым к применению на станциях метрополитена
Приложение Д Коэффициенты звукопоглощения строительных материалов и конструкций и акустических конструкций
Приложение Е Эквивалентное звукопоглощение пассажиров на станции. Значения коэффициента n для учета поглощения звука в воздухе при температуре 20 °С
Приложение Ж Вычисление эквивалентного уровня звука за время оценки шумового воздействия
Библиография

Введение

Настоящий свод правил разработан в развитие Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Настоящий свод правил распространяется на источники шума, используемые при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и эксплуатации объектов метрополитена.

Настоящий свод правил устанавливает также правила акустического проектирования станций метрополитенов для обеспечения акустического комфорта в подземных вестибюлях и на платформах и правила контроля шума, создаваемого в помещениях жилых и общественных зданий при движении поездов в метрополитенах, осуществляемого при приемке в эксплуатацию новых линий.

Настоящий свод правил разработан авторским коллективом НИИСФ РААСН (д-р техн. наук *И.Л. Шубин*, д-р техн. наук *И.Е. Цукерников* – разделы 1–4, 6, приложения А–В, Ж; д-р техн. наук *Т.О. Невенчанная* – раздел 4; канд. техн. наук *В.Н. Сухов*, канд. техн. наук *Х.А. Щиржецкий* – разделы 2, 5, приложения Г–Е; инж. *С.Г. Воробьев*).

СВОД ПРАВИЛ

ЗАЩИТА ОТ ШУМА ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. Правила проектирования, строительства и эксплуатации

Noise protection of metro units. Regulations for designing, construction and operation

Дата введения 2018–05-15

1 Область применения

Настоящий свод правил распространяется на источники шума, используемые при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и эксплуатации объектов метрополитенов.

Настоящий свод правил устанавливает требования к проектированию, строительству и эксплуатации с целью защиты от шума объектов метрополитена, выполнения акустических расчетов по оценке степени шумового дискомфорта на селитебной территории, расположенной в окрестности объектов метрополитенов, и разработке мероприятий для обеспечения допустимых уровней шума, регламентируемых санитарными нормами.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.2.016.1–91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование компрессорное. Определение шумовых характеристик. Общие требования

ГОСТ 11214–2003 Блоки оконные деревянные с листовым остеклением. Технические условия

ГОСТ 17187–2010 (IEC 61672-1:2002). Шумомеры. Часть 1. Технические требования

ГОСТ 20444–2014 Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики

ГОСТ 23337–2014 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 24699–2002 Блоки оконные деревянные со стеклами и стеклопакетами. Технические условия

ГОСТ 25902–2016 Залы зрительные. Метод определения разборчивости речи

ГОСТ 28975–91 (ИСО 6395–88) Акустика. Измерение внешнего шума, излучаемого землеройными машинами. Испытания в динамическом режиме

ГОСТ 30691–2001 (ИСО 4871-96) Шум машин. Заявления и контроль шумовых характеристик

ГОСТ 31295.2–2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета

ГОСТ 31296.1–2005 (ИСО 1996-1:2003) Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 1. Основные величины и процедуры оценки

Издание официальное

ГОСТ 31296.2–2006 (ИСО 1996–2:2007) Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 2. Определение уровней звукового давления

ГОСТ 31326–2006 (ИСО 15667:2000) Шум. Руководство по снижению шума кожухами и кабинами

ГОСТ 31352–2007 (ИСО 5136:2003) Шум машин. Определение уровней звуковой мощности, излучаемой в воздуховод вентиляторами и другими устройствами перемещения воздуха, методом измерительного воздуховода

ГОСТ 31353.2–2007 (ИСО 13347–2:2004) Шум машин. Вентиляторы промышленные. Определение уровней звуковой мощности в лабораторных условиях. Часть 2. Реверберационный метод

ГОСТ 33325–2015 Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом

ГОСТ 33329–2015 Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования

ГОСТ Р 53187–2008 Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий

ГОСТ Р ИСО 3382-1–2013 Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы

СП 51.13330.2011 «СНиП 23-03-2003 Защита от шума»

СП 120.13330.2012 «СНиП 32-02-2003 Метрополитены» (с изменениями № 1, № 2)

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

СП 271.1325800.2016 Системы шумоглушения воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила проектирования

СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков

Примечание – При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего свода правил в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем своде правил применены термины по СП 51.13330, ГОСТ Р 53187, ГОСТ 31296.1, СП 120.13330.

4 Акустические расчеты и выбор мероприятий по снижению шума на селитебной территории от источников, расположенных на наземных объектах метрополитенов

4.1 Общие положения

4.1.1 Источниками шума на наземных объектах метрополитенов являются:

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

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 дБ*А* при измерениях на временной характеристике «медленно» шумомера. 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.

4.1.2 В соответствии с [1] нормируемыми параметрами шума на селитебной территории и в помещениях, расположенных на ней жилых и общественных зданий являются:

- для постоянного шума – уровни звукового давления L, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц. Для ориентировочной оценки допускается использовать уровни звука L_A, дБ*А*;
- для непостоянного шума – эквивалентные уровни звука $L_{A\,экв}$, дБ*А*, и максимальные уровни звука $L_{Aмакс}$, дБ*А*. В СП 51.13330 установлены также допустимые эквивалентные уровни звукового давления $L_{экв}$, дБ, проникающего шума в указанных выше октавных полосах частот.

4.1.3 При оценке уровней проникающего шума от объектов метрополитена на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий, а также при установлении требуемого снижения уровней шума следует руководствоваться допустимыми уровнями в дневной (с 7 до 23 ч) и ночной (с 23 до 7 ч) периоды суток, установленными в СП 51.13330.2011 (таблица 1) и [1, таблица 3].

4.1.4 К основным типам помещений подземных вестибюлей станций метрополитена, для которых настоящим сводом правил установлена единая методика акустического проектирования и методы архитектурно-акустических, строительно-акустических и электроакустических расчетов, 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.

4.1.5 Установленные настоящим сводом правил методы измерения и оценки шума применяют с целью контроля шума, создаваемого в помещениях жилых и общественных зданий при движении поездов в метрополитенах, на соответствие допустимым уровням.

4.1.6 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 строительно-акустическими методами и средствами.

Настоящий свод правил рассматривает средства снижения шума на пути его распространения.

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

4.1.8 Оценку соответствия допустимым уровням шума в расчетных точках в помещениях или на территории застройки для источников, создающих постоянный шум на защищаемых объектах, $\Delta L_{\text{сум.тр}\,i}$ определяют по формуле

$$\Delta L_{\text{сум.тр}\,i} = L_{\text{сум}\,i} - L_{\text{доп}\,i}, \quad (4.1)$$

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

$$L_{\text{сум}\,i} = 10\lg \sum_{j=1}^{N} 10^{0,1L_{ij}}, \quad (4.2)$$

где 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 i-й октавной полосе, дБ.

Оценку соответствия шумового режима $\Delta L_{A\text{сум.тр}}$ нормативным требованиям допускается выполнять по формуле

$$\Delta L_{A\text{сум.тр}} = L_{A\text{сум}} - L_{A\text{доп}}, \quad (4.3)$$

где $L_{A\text{сум}}$ – суммарный уровень звука от источников шума в расчетной точке, дБA;

$L_{A\text{доп}}$ – допустимый уровень звука на защищаемом объекте, дБA.

Суммарный уровень звука $L_{A\text{сум}}$ измеряют или рассчитывают по суммарным уровням звукового давления в октавных полосах частот $L_{\text{сум}\,i}$ по формуле

$$L_{A\text{сум}} = 10\lg \sum_{i=1}^{8} 10^{0,1(L_{\text{сум}i}+A_i)}, \quad (4.4)$$

где A_i – значение частотной характеристики A шумомера на среднегеометрической частоте ($f_{\text{сг}}$) i-й октавной полосы, дБ, принимаемое согласно ГОСТ 17187 по таблице 4.1.

Т а б л и ц а 4.1 – **Частотная характеристика A шумомера**

i	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_{\text{сг}}$, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A_i, дБ	–26,2	–16,1	–8,6	–3,2	0	+1,2	+1,0	–1,1

Примечания

1 Отрицательное значение величин $\Delta L_{\text{сум.тр}\,i}$, $\Delta L_{A\text{сум.тр}}$ характеризует удовлетворение допустимых уровней шума в расчетной точке, положительное – соответствует требуемому снижению уровней шума, которое может быть достигнуто снижением излучаемого источниками шума или повышением шумозащитных качеств средств, препятствующих распространению шума.

2 Оценка уровня звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 31,5 Гц не проводится [2].

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

$$\Delta L_{A\text{экв.сум.тр}} = L_{A\text{экв.сум}} - L_{A\text{экв.доп}}, \quad (4.5)$$

$$\Delta L_{A\text{макс.тр}} = L_{A\text{макс}} - L_{A\text{макс.доп}}, \quad (4.6)$$

где $L_{A\text{экв.сум}}$, $L_{A\text{макс}}$ – общий эквивалентный и максимальный уровни звука в расчетной точке, дБA;

$L_{A\text{экв.доп}}$, $L_{A\text{макс.доп}}$ – допустимые эквивалентный и максимальный уровни звука в расчетной точке, дБ*А*, определяемые по 4.1.3.

Общий эквивалентный уровень звука определяют энергетическим сложением суммарного уровня звука $L_{A\text{сум}}$ от источников постоянного шума, определенного по формулам (4.2), (4.4), и суммарного эквивалентного уровня звука $L_{A\text{экв.сум}}$ от источников непостоянного шума, дБ*А*, по формуле

$$L_{A\text{экв.сум}} = 10\lg\left(10^{0,1L_{A\text{сум}}} + 10^{0,1L_{A\text{экв.сум}}}\right). \quad (4.7)$$

При этом вначале определяют суммарный уровень по формуле (4.2), а затем выполняют коррекцию *А* по формуле (4.4).

Суммарный эквивалентный уровень звука от источников непостоянного шума рассчитывают по формуле

$$L_{A\text{экв.сум}} = 10\lg\sum_{j=1}^{N'} 10^{0,1L_{A\text{экв}\,j}}, \quad (4.8)$$

где N' – число источников непостоянного шума, работающих в течение времени оценки τ шумового воздействия (16 ч днем, 8 ч ночью);

$L_{A\text{экв}j}$ – эквивалентный уровень звука j-го источника непостоянного шума, определяемый как среднее по интенсивности его значение за время оценки τ по формуле

$$L_{A\text{экв}\,j} = 10\lg\left(\frac{1}{\tau}\sum_{k}^{m}\tau_k 10^{0,1L^k_{Aj}}\right), \quad (4.9)$$

где m – число интервалов с различными значениями уровня звука на интервале времени оценки τ;

τ_k – длительность интервала с уровнем звука L^k_{Aj}, ч.

4.1.10 Если суммарный шум в расчетной точке превышает допустимый уровень ($\Delta L_{\text{сум.тр}\,i} > 0$ или $\Delta L_{\text{сум.тр}} > 0$; $\Delta L_{A\text{экв.сум.тр}} > 0$ или $\Delta L_{A\text{макс.тр}} > 0$), 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 $\Delta L_{\text{тр}i}$ определяют для уровней звукового давления в расчетных точках.

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 наибольшего уровня звукового давления в данной расчетной точке и подгруппу остальных источников шума с более низкими уровнями звукового давления.

Для каждого из источников шума первой подгруппы требуемое снижение шума, создаваемое в расчетной точке i-м источником $\Delta L_{\text{тр}\,i}$, вычисляют по формуле

$$\Delta L_{\text{тр}\,i} = L_i - L_{\text{доп}} + 10\lg n_1, \quad (4.10)$$

где L_i – уровень звукового давления, дБ, создаваемый в расчетной точке i-м источником;

$L_{\text{доп}}$ – допустимый уровень звука на защищаемом объекте, дБ;

n_1 – число источников шума в первой подгруппе.

Для каждого источника шума второй подгруппы требуемое снижение шума вычисляют по формуле

$$\Delta L_{\text{тр}\,i} = L_i - L_{\text{доп}} + 10\lg(n - n_1) + 5, \quad (4.11)$$

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 ΔL_0, определяемое по формуле

$$\Delta L_0 = 10 \lg m_n + 5, \quad (4.12)$$

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

Примечание – В случаях, если для источников, создающих в расчетной точке более низкие уровни звукового давления, получаются большие значения требуемого снижения шума, следует в принятой схеме разбиения источников на две группы рассчитать суммарный уровень звукового давления в расчетной точке с учетом найденных значений требуемого снижения шума отдельных источников и откорректировать полученные данные.

4.1.11 Необходимые акустические расчеты и предложения по обеспечению допустимых уровней шума рекомендуется включать в состав проектной документации на всех основных стадиях проектировании в соответствии с СП 51.13330.2011 (разделы 4, 8).

4.2 Выбор расчетных точек

4.2.1 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 этажей;
- для территорий – не менее чем в 2 м от стен окружающих зданий и сооружений на высоте 1,5 м от поверхности земли и на высоте середины окон верхних этажей зданий;
- для помещений – в 2 м от окна на высоте 1,5 м от поверхности пола.

4.2.2 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.

4.2.3 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, неэкранируемым 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 перечислениями а), б).

4.3 Расчет ожидаемых уровней шума от стационарных объектов

4.3.1 Исходные данные

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

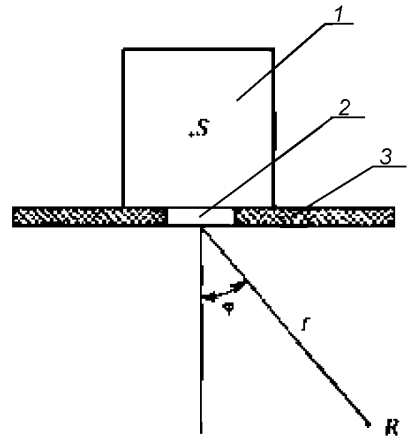
а) ситуационный план территории объекта метрополитена со всеми зданиями и сооружениями и прилегающей застройкой;

б) перечень, спецификация и шумовые характеристики оборудования, являющегося источниками шума объекта метрополитена;

в) местоположение установки шумного оборудования и наружных отверстий вентиляционных систем и углы между нормалями к наружным ограждениям, за которыми находится это оборудование (нормалями к наружным отверстиям вентиляционных систем), и направлениями в расчетную точку (рисунок 4.1);

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

д) характер и периоды работы шумного оборудования.



S – источник шума; *R* – расчетная точка; *r* – расстояние от ограждения до расчетной точки; *1* – помещение; *2* – окно; *3* – наружное ограждение

Рисунок 4.1 **– Схема для определения угла φ между нормалью к наружному ограждению и направлением в расчетную точку**

4.3.1.2 В соответствии с требованиями СП 51.13330 шумовыми характеристиками технологического и инженерного оборудования являются уровни звуковой мощности L_W (для источников постоянного шума), эквивалентные $L_{W\text{экв}}$ и максимальные $L_{W\text{макс}}$ уровни звуковой мощности (для источников непостоянного шума) в восьми октавных полосах нормируемого диапазона со среднегеометрическими частотами 63–8000 Гц. Эти характеристики должны содержаться в технической документации на оборудование и прилагаться к разделу проекта «Защита от шума» рассматриваемого объекта метрополитена.

Примечание – Шумовые характеристики источников шума заявляет завод-изготовитель оборудования в прилагаемой технической документации по ГОСТ 30691. В некоторых случаях требуемые шумовые характеристики источников шума могут быть получены расчетным путем (например, по заявленным уровням звука излучения и/или октавным уровням звукового давления излучения в контрольных точках), а также в результате измерений, выполненных на аналогичном оборудовании в соответствии с общими методами, установленными ГОСТ 23941, или специальными методами, установленными стандартами на конкретные виды оборудования (например, ГОСТ 12.2.016.1 – для компрессорного оборудования, ГОСТ 31352 и ГОСТ 31353.2 – для вентиляционного оборудования, ГОСТ 28975 – для землеройных машин).

Для действующих стационарных объектов метрополитена в качестве исходных данных допускается использовать результаты измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот, выполненных внутри помещений с технологическим оборудованием в 2 м от элементов ограждающих поверхностей с наименьшей звукоизоляцией (окна, двери) при работе не менее 70 % оборудования, эксплуатируемого в помещении.

4.3.1.3 Шумовые характеристики вентиляторов, при необходимости, допускается определять расчетом. Для выполнения расчета необходимы следующие исходные данные: номер вентилятора, его КПД, 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 определения уровней звуковой мощности шума, излучаемого из заборных и выбросных отверстий приточных и вытяжных систем вентиляции, необходимы также сведения о путевой арматуре и элементах воздуховодов: общая длина воздуховода от вентилятора до заборного или выбросного отверстия, размеры его поперечного сечения, количество и характер поворотов и разветвлений воздуховодов, наличие фасонных элементов (отводы, тройники, крестовины), шиберов, дроссель-клапанов, глушителей шума, тип распределительных устройств (нерегулируемые и регулируемые решетки, плафоны, анемостаты, устройства на основе конических сопел).

Расчет шумовых характеристик вентиляторов и уровней звуковой мощности шума, излучаемого из заборных и выбросных отверстий систем вентиляции, следует выполнять в соответствии с СП 271.1325800.

4.3.2 Этапы расчета

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.

После выполнения акустического расчета выбирают конкретные мероприятия для обеспечения требуемого снижения уровней шума в расчетных точках. Проводят выбор типа и размера звукопоглощающих, звукоизолирующих конструкций (звукоизолирующих кожухов, звукопоглощающих облицовок и конструкций, акустических экранов), а затем выполняют проверочный расчет снижения уровней шума в расчетных точках.

4.3.3 Расчет уровней звукового давления

4.3.3.1 Уровень звукового давления в октавных полосах частот в расчетной точке на территории застройки рассчитывают в соответствии с методом, установленным ГОСТ 31295.2.

4.3.3.2 При источнике шума, расположенном открыто, уровень звукового давления в i-й полосе частот L_i в расчетной точке вычисляют по формуле

$$L_i = L_{Wi} + 10\lg\Phi_i - \Delta L_i, \qquad (4.13)$$

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 $\Phi_i = 1$);

ΔL_i – изменение 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 4.3.4.

Изменение уровня звукового давления в i-й октавной полосе частот ΔL_i учитывает различные факторы, влияющие на интенсивность звука при распространении от источника до расчетной точки, и является суммой ряда слагаемых

$$\Delta L_i = \Delta L_{\text{рас}i} + \Delta L_{\text{атм}i} + \Delta L_{\text{гр}i} + \Delta L_{\text{экр}i} + \Delta L_{\text{зел}i} + \Delta L_{\text{отр}i}, \qquad (4.14)$$

где $\Delta L_{\text{рас}i}$ – снижение уровня звукового давления в i-й октавной полосе в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой, связанное с расхождением звуковой волны в пространстве, дБ (затухание звука из-за геометрической дивергенции);

$\Delta L_{\text{атм}i}$ – снижение уровня звукового давления в i-й октавной полосе, связанное с поглощением звука в атмосфере, дБ;

$\Delta L_{\text{гр}i}$ – изменение уровня звукового давления в i-й октавной полосе, вызываемое влиянием грунта, дБ;

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

$\Delta L_{\text{зел}i}$ – снижение уровня звукового давления в i-й октавной полосе полосами зеленых насаждений, дБ;

$\Delta L_{отрi}$ – влияние отражения звука от препятствий в i-й октавной полосе, дБ.

Значения слагаемых $\Delta L_{расi}$, $\Delta L_{атмi}$, $\Delta L_{грi}$, $\Delta L_{экрi}$, $\Delta L_{зелi}$ следует рассчитывать по ГОСТ 31295.2 (аналогично слагаемым A_{div}, A_{atm}, A_{gr}, A_{bar}, A_{fol}), $\Delta L_{отрi}$ – по 4.3.3.3.

Примечания

1 Каждое слагаемое, входящее в формулу (4.14), рассчитывают в отдельности и таким образом, как будто остальные составляющие отсутствуют.

2 Слагаемые в формуле (4.14) являются положительными, если они приводят к снижению уровня звукового давления. В том случае, если уровень звукового давления увеличивается, то слагаемое должно иметь отрицательный знак.

4.3.3.3 Отражение звука от препятствий

Для препятствий, расположенных на расстоянии более 2 м от расчетной точки, $\Delta L_{отрi}$ следует рассчитывать по ГОСТ 31295.2–2005 (подраздел 7.5). Для здания, в 2 м от поверхности которого расположена расчетная точка, в соответствии с ГОСТ 31296.2 допускается принимать $\Delta L_{отрi} = 3$ дБ (дБA).

4.3.3.4 Для источников шума, расположенных в помещениях, уровень звукового давления L_i в октавных полосах частот в расчетной точке определяют по формуле (4.13). При этом необходимо заменить в ней уровень звуковой мощности L_{Wi} на уровень звуковой мощности $L_{Wпрi}$ шума, прошедшего через наружные ограждения помещения с источниками шума (определяют по 4.3.4.2).

Вычисление значения 10 lgФ$_i$ в зависимости от угла φ между нормалью к наружному ограждению помещения с источниками шума и направлением в расчетную точку (см. рисунок 4.1) необходимо производить с помощью таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – **Зависимость фактора направленности от угла φ**

φ, град	0	45	90	135	180
10 lgФ, дБ	0	–3	–5	–10	–15

Изменение уровня звукового давления $\Delta L_{расi}$, $\Delta L_{атмi}$, $\Delta L_{грi}$, $\Delta L_{экрi}$, $\Delta L_{зелi}$ и $\Delta L_{отрi}$ на пути распространения звука от наружных поверхностей помещения определяют по 4.3.3.2. При этом расстояния отсчитывают от наружных поверхностей помещений, а высоту источника шума h_S берут 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 $\Delta L_{экр} = 0$ и $\Delta L_{зел} = 0$.

4.3.3.5 Если источником шума является воздухозаборное или выбросное отверстие систем, использующих вентиляторы или компрессоры, ожидаемые уровни звукового давления в расчетных точках L_i вычисляют по формуле

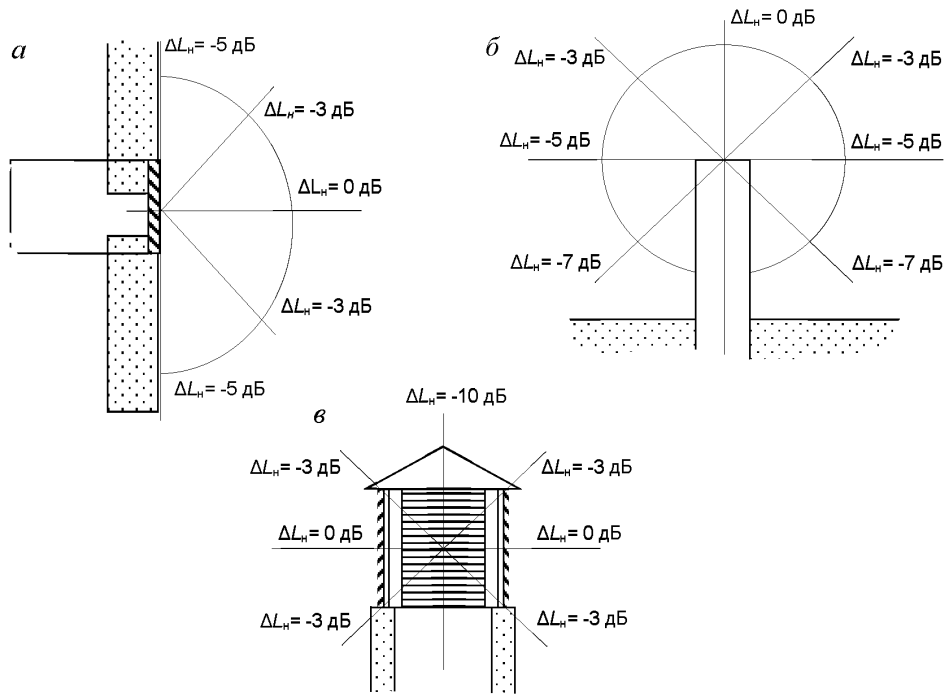
$$L_i = L_{Wi} - \Delta L_{Wiсети} + \Delta L_н - \Delta L_i, \qquad (4.15)$$

где L_{Wi} – уровень звуковой мощности вентилятора в i-й октавной полосе, дБ, определяемый по 4.3.4.3;

$\Delta L_{Wiсети}$ – суммарное снижение уровня звуковой мощности по пути распространения звука в воздуховоде в i-й октавной полосе, дБ, определяемое по 4.3.4.4;

$\Delta L_н$ – показатель направленности излучения звука, дБ, определяемый по рисунку 4.2;

ΔL_i – снижение уровня звукового давления, дБ, в i-ой октавной полосе частот на пути распространения звука от источника шума до расчетной точки, согласно формуле (4.14).



а – шум излучается через вентиляционную решетку в стене здания; б – шум излучается открытым концом воздуховода на кровле; в – шум излучается через вентиляционную шахту на кровле

Рисунок 4.2 **– Показатель направленности излучения шума через отверстия вентиляционных решеток, воздуховодов, шахт и подобных элементов**

4.3.3.6 Уровень звукового давления в *i*-й октавной полосе $L_{пi}$ шума, проникающего снаружи в защищаемое помещение, определяют по формуле

$$L_{пi} = L_i - R_i + 10\lg\frac{S}{S_0} - 10\lg\frac{B_i}{B_0} + 6, \qquad (4.16)$$

где L_i – уровень звукового давления, дБ, в *i*-й октавной полосе снаружи у ограждения защищаемого от шума помещения, определяемый по формуле (4.13);

R_i – изоляция воздушного шума, дБ, наружным ограждением защищаемого от шума помещения в *i*-й октавной полосе, определяемая по формуле (4.21) путем подстановки в нее значений параметров, соответствующих рассматриваемому ограждению;

S – площадь, м^2, наружного ограждения, через которое шум проникает в защищаемое помещение;

$S_0 = 1$ м^2;

B_i – постоянная защищаемого от шума помещения в *i*-й октавной полосе, м^2, определяемая по 4.3.4.2;

$B_0 = 1$ м^2.

4.3.4 Шумовые характеристики источников шума

4.3.4.1 Значения уровней звуковой мощности L_W (для источников постоянного шума), эквивалентных $L_{Wэкв}$ и максимальных $L_{Wмакс}$ уровней звуковой мощности (для источников непостоянного шума), а также показателя направленности Ф в восьми октавных полосах нормируемого диапазона принимают по данным, приводимым в сопроводительной

технической документации на источник шума (см. 4.3.1.2). При отсутствии значений Ф в документации принимают Ф = 1.

Для оборудования систем кондиционирования, а также вентиляторов значения L_W могут быть приняты по каталогам (документам) фирм-изготовителей.

4.3.4.2 В случае, если источник звука находится внутри помещения, уровень звуковой мощности $L_{W\text{пр}i}$ шума, прошедшего через наружные ограждения помещения, вычисляют по формуле

$$L_{W\text{пр}\,i} = L_{\text{вн}\,i} + 10\lg\frac{S_{\text{ог}}}{S_0} - R_i - 6, \tag{4.17}$$

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;

R_i – изоляция воздушного шума наружным ограждением помещения в i-й октавной полосе, дБ.

Уровень звукового давления в i-й октавной полосе у наружного ограждения внутри помещения с источниками шума $L_{\text{вн}i}$, дБ, вычисляют по формуле

$$L_{\text{вн}i} = 10\lg\sum_{k=1}^{n}10^{0{,}1L_{Wki}} - 10\lg\frac{B_i}{B_0} + 6, \tag{4.18}$$

где L_{Wki} – уровень звуковой мощности k-го источника шума, расположенного внутри помещения, i-й октавной полосе, дБ;

n – число источников шума в помещении;

$B_0 = 1$ м^2;

B_i – постоянная помещения в i-ой октавной полосе, м^2, вычисляемая по формуле

$$B_i = B_{1000}\mu_i, \tag{4.19}$$

где B_{1000} – постоянная помещения в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц, м^2, определяемая по таблице 4.3 в зависимости от объема V, м^3, и типа помещения;

μ_i – частотный множитель, определяемый по таблице 4.4.

Примечание – Если длина помещения более чем в 5 раз превышает его ширину или высоту, постоянную помещения B_{1000} рекомендуется определять по таблице 4.3 в зависимости от значения воображаемого объема V', определяемого по формуле

$$V' = \begin{cases} 5h^2b & \text{при} \quad b \le 5h \\ 25h^3 & \text{при} \quad b > 5h \end{cases}, \tag{4.20}$$

где h – меньший размер помещения, м;

b – второй по величине размер помещения, м.

Таблица 4.3 – **Постоянная помещения B_{1000}**

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

Т а б л и ц а 4.4 – **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
Менее 200	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
Свыше 1000	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

Изоляцию воздушного шума наружным ограждением R_i определяют по формуле

$$R_i = -10\lg\left(\frac{S_{ок}\cdot 10^{-0,1R_{окi}} + S_ф + S_{дв}\cdot 10^{-0,1R_{двi}} + S_{ст}\cdot 10^{-0,1R_{стi}}}{S_1}\right), \quad (4.21)$$

где $S_{ок}$, $R_{окi}$ – площадь, м^2, и изоляция, дБ, воздушного шума для окон в i-й октавной полосе;

$S_{дв}$, $R_{двi}$ – то же для дверей;

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

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

$S_1 = 1$ м^2.

При выполнении наружных ограждений из традиционных строительных материалов (кирпич, бетон и т. п. материалов, применяемых для отапливаемых помещений) R допускается определять по формуле (4.21) без учета члена $S_{ст} \cdot 10^{-0,1R_{стi}}$.

Изоляцию воздушного шума окном с открытой форточкой или фрамугой принимают равной 10 дБ.

Допускается выполнение расчета $L_{внi}$ в соответствии с СП 254.1325800.

Для действующих объектов метрополитена значения $L_{внi}$ следует определять посредством измерений, выполняемых в соответствии с 4.3.1.2 (см. примечание).

4.3.4.3 При необходимости значения уровня звуковой мощности L_{Wi}, дБ, вентилятора, излучаемой в присоединяемые воздуховоды всасывания и нагнетания, рассчитывают по его критерию шумности (или на основе удельных уровней звуковой мощности) и аэродинамическим параметрам в соответствии с СП 271.1325800. В соответствии с СП 271.1325800 следует рассчитывать также шумовые характеристики путевой арматуры систем и элементов воздуховодов: прямых участков, фасонных элементов круглого или прямоугольного сечения, шиберов и дроссель-клапанов, воздухораспределительных устройств.

Значения уровня звуковой мощности вентилятора в i-й октавной полосе частот L_{Wi}, дБ, излучаемой в окружающее пространство через стенки корпуса вентилятора, вычисляют по формуле

$$L_{Wi} = L_{к.ш} + 20\lg\frac{P_V}{P_0} + 10\lg\frac{Q}{Q_0} - \Delta L_{1i} + \Delta L_{реж}, \quad (4.22)$$

где $L_{к.ш}$ – критерий шумности, дБ, определяемый в зависимости от типа и конструкции вентилятора в соответствии с СП 271.1325800.2016 (приложение А);

P_V – полное давление (напор), создаваемое вентилятором, Па;

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

ΔL_{1i} – поправка, дБ, учитывающая распределение L_{Wi} по октавным полосам частот, дБ, определяемая в зависимости от типа и частоты вращения рабочего колеса вентилятора в соответствии с СП 271.1325800.2016 (пункт 6.3.2, таблица 6.1);

$\Delta L_{реж}$ – поправка на режим работы вентилятора, дБ, в зависимости от КПД вентилятора, определяемая по таблице 4.5;

$P_0 = 10$ Па;

$Q = 1$ м^3/с.

Таблица 4.5 – **Поправка $\Delta L_{реж}$ на режим работы вентилятора**

КПД	$\eta_{макс}$	0,9 $\eta_{макс}$	0,8 $\eta_{макс}$	0,7 $\eta_{макс}$	0,6 $\eta_{макс}$	0,4 $\eta_{макс}$
$\Delta L_{реж}$, дБ	0	1	4	6	7	8

Значения уровня звуковой мощности L_{Wi}, дБ, крышного вентилятора, излучаемой открытым патрубком или через стенки корпуса, вычисляют по формуле

$$L_{Wi} = \overline{L} + 50\lg\frac{u}{u_0} + 20\lg\frac{D}{D_0} - \Delta L_{1i}, \qquad (4.23)$$

где $\overline{L}$ – отвлеченный уровень, дБ, определяемый в зависимости от типа и конструкции вентилятора по таблице 4.6;

u – окружная скорость рабочего колеса, м/с;

D – диаметр рабочего колеса, м;

ΔL_{1i} – поправка, учитывающая распределение L_{Wi} по октавным полосам частот, дБ, определяемая в зависимости от типа и частоты вращения рабочего колеса вентилятора по таблице 4.7;

$u_0 = 1$ м/с;

$D_0 = 1$ м.

Таблица 4.6 – **Отвлеченный уровень $\overline{L}$**

Вентилятор	Отвлеченный уровень $\overline{L}$, дБ, для сторон	
	нагнетания	всасывания
Радиальный (центробежный)	28	32
Осевой	19	19

Таблица 4.7 – **Поправка ΔL_{1i}, учитывающая распределение уровня звуковой мощности по октавным полосам частот для крышных вентиляторов**

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	400–480	5	4	8	10	16	23	28	33
Осевой	720–920	7	6	6	9	12	16	21	29
	1370–1400	9	7	6	6	9	13	17	23

4.3.4.4 В соответствии с СП 271.1325800 снижение уровней звуковой мощности источников шума, например, вентилятора или дросселя, при прохождении по воздуховодам определяют последовательно для каждого элемента сети и затем суммируют. Следует иметь в виду, что даже в акустически не обработанных элементах систем собственное затухание обычно весьма значительное и его необходимо учитывать.

Суммарное снижение уровней звуковой мощности, $\Delta L_{Wiсети}$ по пути распространения звука в воздуховоде в i-ой октавной полосе определяют по формуле

$$\Delta L_{Wiсети} = \sum_{k=1}^{n_c} \Delta L_{Wi}^{(k)}, \qquad (4.24)$$

где $\Delta L^{(k)}_{Wi}$ – 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.

В число элементов, оказывающих существенное влияние на затухание звука при распространении его в сети воздуховода включают следующие элементы: прямые участки воздуховода, повороты, изменение поперечного сечения воздуховода, разветвление сети, отражение от открытого конца воздуховода. Расчет снижения уровней звуковой мощности $\Delta L^{(k)}_{Wi}$ от указанных элементов сети воздуховода, а также в элементах вентиляционных установок (в фильтрах, секциях увлажнения, подогрева или охлаждения) следует выполнять в соответствии с СП 271.1325800.

4.4 Расчет ожидаемых уровней звука от движущихся объектов

4.4.1 Движущимися объектами метрополитена являются поезда, курсирующие на подземных, наземных и надземных участках линий мелкого и глубокого заложения. На селитебной территории в окрестности наземных объектов метрополитена могут располагаться источники непостоянного шума, такие как рельсовый и дорожный транспорт.

4.4.2 В соответствии с ГОСТ 20444 шумовыми характеристиками потоков транспорта являются эквивалентный $L_{A\text{экв}}$ и максимальный $L_{A\text{макс}}$ уровни звука в дБA, определяемые на опорном расстоянии R_0 от оси пути или полосы движения дороги, наиболее близких к расчетной точке, и на высоте 1,5 м от уровня головки рельса (для рельсового транспорта, включая трамваи) или от уровня проезжей части (для автодорожного транспорта, включая троллейбусы). Для рельсового транспорта (железнодорожных поездов и поездов метро) принимают R_0 = 25 м и высоту отсчитывают от уровня головки рельса, для дорожного транспорта (автомобили, троллейбусы, трамваи) R_0 = 7,5 м и высоту отсчитывают от уровня проезжей части (для трамваев – от уровня головки рельса).

Для выполнения расчета ожидаемых уровней шума в расчетных точках в качестве дополнительных шумовых характеристик потоков транспорта определяют эквивалентные и максимальные уровни звукового давления в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63–8000 Гц в указанных опорных точках, рассчитываемые из соответствующих значений уровня звука с помощью относительных спектров, принимаемых для видов транспорта по СП 276.1325800 и 4.4.8.

4.4.3 Для поездов метро расчет шумовых характеристик и ожидаемых уровней шума в расчетных точках выполняют по 4.4.4–4.4.8. Для остальных видов транспорта расчет выполняют в соответствии с правилами, установленными СП 276.1325800.

Допускается расчет ожидаемых уровней шума в расчетных точках от движущихся объектов выполнять по ГОСТ 31295.2.

4.4.4 Шумовые характеристики поезда метро в виде эквивалентного $L^k_{A\text{экв}25}$ и максимального $L^k_{A\text{макс}25}$ уровней звука, дБA, создаваемых поездом с вагонами k-го типа за время τ_k, с, его прохода мимо опорной точки вычисляют по формулам:

- для традиционного метро

$$L^k_{A\text{экв}\,25} = 34{,}9\lg\left(\frac{v_k}{v_0}\right) + 10\lg\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{l_k}{25}\right) - \frac{12{,}5}{l_k}\ln\left[1+\left(\frac{l_k}{25}\right)^2\right]\right) + 17{,}5, \qquad (4.25)$$

$$L^k_{A\text{макс}\,25} = 35\lg\left(\frac{v_k}{v_0}\right) + 10\lg\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{l_k}{50}\right)\right) + 13{,}7, \qquad (4.26)$$

- для легкого метро

$$L^k_{A\text{экв}\,25} = 22{,}7\lg\left(\frac{v_k}{v_0}\right) + 10\lg\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{l_k}{25}\right) - \frac{12{,}5}{l_k}\ln\left[1+\left(\frac{l_k}{25}\right)^2\right]\right) + 45, \qquad (4.27)$$

$$L^k_{A\text{макс}\,25} = 25{,}6\lg\left(\frac{v_k}{v_0}\right) + 10\lg\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{l_k}{50}\right)\right) + 51, \qquad (4.28)$$

где v_k – скорость движения поезда с вагонами k-го типа, км/ч;

l_k – длина поезда с вагонами k-го типа, м;

v_0 = 1 км/ч.

Примечания

1 Формула (4.25) получена посредством перехода от модели бесконечного линейного источника к модели источника конечной длины, равной длине поезда метро.

2 Формулы (4.27), (4.28) получены применением процедуры линейной регрессии к результатам измерений эквивалентных уровней опытного образца легкого метро.

3 Для поездов метрополитена, имеющих длину 160 м, слагаемые $10\lg\left(\text{arctg}(l_k/25)-(12{,}5/l_k)\ln\left[1+(l_k/25)^2\right]\right)$ = 0,5 дБ и $10\lg(\text{arctg}(l_k/50))$ = 1 дБ, и формулы (4.25), (4.26) принимают вид:

$$L^k_{A\text{экв }25}=34{,}9\lg\left(\frac{v_k}{v_0}\right)+18. \quad (4.29)$$

$$L^k_{A\text{макс }25}=35\lg\left(\frac{v_k}{v_0}\right)+14{,}7. \quad (4.30)$$

4 Для поездов на линии легкого метро и имеющих длину 84 м слагаемые $10\lg\left(\text{arctg}(l_k/25)-(12{,}5/l_k)\ln\left[1+(l_k/25)^2\right]\right)$ = 0,7 дБ и $10\lg(\text{arctg}(l_k/50))$ = 0,1 дБ, и формулы (4.27), (4.28) принимают вид:

$$L^k_{A\text{экв }25}=22{,}7\lg\left(\frac{v_k}{v_0}\right)+45{,}7. \quad (4.31)$$

$$L^k_{A\text{макс }25}=25{,}6\lg\left(\frac{v_k}{v_0}\right)+51{,}1. \quad (4.32)$$

При проходе по мосту или эстакаде шум, генерируемый поездом, выше, чем при проходе по обычному пути. В этом случае к рассчитанному эквивалентному уровню звука следует прибавить коррекцию $\Delta L_м$, зависящую от типа моста (эстакады) и определяемую по таблице 4.8.

Таблица 4.8 – **Коррекция $\Delta L_м$ на тип моста (эстакады)**

Тип моста	Коррекция, дБ*A*
Стальной мост	10
Стальной мост с балластным слоем	5
Стальной мост с балластным слоем и подбаластным матом	3
Армированный бетонный мост с балластным слоем и подбаластным матом	0
Армированный бетонный мост с бетонными опорами	0

4.4.5 Шумовую характеристику в виде часового эквивалентного уровня звука $L^k_{A\text{экв}25,1\text{ч},l}$ потока поездов метро с вагонами k-го типа, проходящих по рассматриваемому открытому участку пути в течение l-го часа, вычисляют по формуле

$$L^k_{A\text{экв}25,1\text{ч},l}=10\lg\frac{1}{3600}\sum_{j=1}^{n^k_l}t_{jl}10^{0{,}1L^k_{A\text{экв}25,jl}}, \quad (4.33)$$

где $L^k_{A\text{экв},jl}$ – эквивалентный уровень звука, дБ*A*, создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего пути j-м поездом с вагонами k-го типа, проходящим в течение l-го часа (рассчитывают по формулам (4.25) и (4.27);

n^k_l – число поездов с вагонами k-го типа, проходящих по рассматриваемому участку пути, в течение l-го часа;

t_{jl} – время следования каждого поезда по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа, с.

Часовой эквивалентный уровень звука $L_{A\text{экв}25,1\text{ч},l}$, создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего пути потоками поездов метро с вагонами всех типов, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа, вычисляют по формуле

$$L_{A\text{экв}25,1\text{ч},l} = 10\lg \sum_{k=1}^{n} 10^{0,1L^k_{A\text{экв}25,1\text{ч},l}}, \quad (4.34)$$

где n – число поездов с вагонами различных типов, проходящих по рассматриваемому участку пути, в течение l-го часа.

4.4.6 Эквивалентный уровень звука $L_{A\text{экв}25,R}$ за время оценки (16 ч днем и 8 ч ночью) рассчитывают по формуле

$$L_{A\text{экв}25,R} = 10\lg \frac{1}{T_R} \sum_{l=1}^{n_R} t_l 10^{0,1L_{A\text{экв}25,1\text{ч},l}}, \quad (4.35)$$

где T_R – время оценки, ч, принимаемое в соответствии с [1] равным 16 ч (n_R = 16) для дня и 8 ч (n_R = 8) для ночи;

t_l = 1 ч.

Примечание – При необходимости выделения вечернего времени следует рассматривать три временных интервала оценки шума за сутки в соответствии с ГОСТ Р 53187.

4.4.7 Шумовую характеристику в виде максимального уровня звука потока поездов за время оценки $L_{A\text{макс}25,R}$ следует определять по среднеарифметическим максимальным уровням звука поездов метро, проходящих по рассматриваемому открытому участку пути, в соответствии с методом оценки распределения максимальных уровней звука по ГОСТ 31296.2–2006 (подраздел 9.3).

4.4.8 Шумовые характеристики отдельных поездов и потоков поездов метро в виде эквивалентных и максимальных уровней звукового давления в октавных полосах частот определяют посредством добавления к уровням звука значений относительного спектра, приведенных в таблице 4.9, по формуле

$$L_{25i} = L_{A25} + \Delta_{\text{отн}i}, \quad (4.36)$$

где L_{25i} – эквивалентный или максимальный уровень звукового давления отдельных поездов ($L_{\text{экв}25i}$, $L_{\text{макс}25i}$) или потоков поездов для часового ($L_{\text{экв}25i,1\text{ч},l,i}$) и оценочного интервалов времени ($L_{\text{экв}25,R,i}$, $L_{\text{макс}25,R,i}$) в i-й октавной полосе, дБ;

L_{A25} – эквивалентный или максимальный уровень звука отдельных поездов ($L_{A\text{экв}25}$, $L_{A\text{макс}25}$) и потоков поездов для часового ($L_{A\text{экв}25,1\text{ч},l,}$) и оценочного ($L_{A\text{экв}25,R}$, $L_{A\text{макс}25,R}$) интервалов времени, определенные по 4.4.5–4.4.7, дБA;

$\Delta_{\text{отн}i}$ – значение относительного спектра в i-й октавной полосе частот, дБ.

Таблица 4.9 – **Относительные спектры шума потоков метропоездов**

Вид метро	Относительная частотная характеристика шума метропоездов $\Delta_{\text{отн}i}$, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Традиционное	−14,3	−14,7	−17,5	−4,2	−3,5	−6,2	−12,4	−23,4
Легкое	6,5	0	0,6	−1,5	−5,8	−9,6	−14,2	−21,0
Примечание – Оценка уровня звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 31,5 Гц не проводится [2].								

4.4.9 Эквивалентный уровень звукового давления в расчетной точке $L_{экв i}$ рассчитывают по формуле

$$L_{экв i} = L_{экв25 i} - \Delta L_{рас i} - \Delta L_{атм i} - \Delta L_{гр i} - \Delta L_{экр i} - \Delta L_{зел i} - \Delta L_{отр i} - \Delta L_{\alpha i}, \quad (4.37)$$

где $L_{экв25 i}$ – эквивалентный уровень звукового давления в i-й октавной полосе на расстоянии 25 м от оси ближнего к расчетной точке пути на высоте 1,5 м от головки рельса для отдельных поездов, определенный по 4.4.4 и 4.4.8, или потоков поездов ($L_{A экв25,1ч,l}$, $L_{A экв25,R}$), определенный по 4.4.5, 4.4.6 и 4.4.8 для часового и оценочного интервалов времени, дБ;

$\Delta L_{рас i}$, $\Delta L_{атм i}$, $\Delta L_{гр i}$, $\Delta L_{экр i}$, $\Delta L_{зел i}$ и $\Delta L_{отр i}$ – (см. формулу (4.14));

$\Delta L_{\alpha i}$ – снижение уровня звукового давления вследствие ограничения угла видимости объекта из расчетной точки.

4.4.10 Максимальный уровень звукового давления в расчетной точке $L_{макс i}$ вычисляют по формуле

$$L_{макс i} = L_{макс25 i} - \Delta L_{рас i} - \Delta L_{атм i} - \Delta L_{экр i} - \Delta L_{зел i}, \quad (4.38)$$

где $L_{макс25 i}$ – максимальный уровень звукового давления в i-й октавной полосе на расстоянии 25 м от оси ближнего к расчетной точке пути на высоте 1,5 м от головки рельса для отдельных поездов, определенный по 4.4.4 и 4.4.8, или потоков поездов, определенный по 4.4.7 и 4.4.8, дБ.

4.4.11 Значения слагаемого $\Delta L_{рас i}$ следует рассчитывать по 4.4.12, $\Delta L_{экр i}$ – по ГОСТ 33325 (аналогично слагаемому $A_{экр i}$), слагаемых $\Delta L_{атм i}$, $\Delta L_{гр i}$, $\Delta L_{зел i}$ – по ГОСТ 31295.2 (аналогично слагаемым A_{atm}, A_{gr}, A_{fol}), $\Delta L_{отр i}$ и $\Delta L_{\alpha i}$ – по 4.3.3.3, 4.4.13.

4.4.12 Снижение уровней шума в зависимости от расстояния $\Delta L_{рас i}$ рассчитывают по формулам:

для эквивалентных уровней звука и звукового давления

$$\Delta L_{рас} = 10 \lg \left(\frac{\operatorname{arctg}\left(\frac{\bar{l}}{25}\right) - \left(\frac{12{,}5}{\bar{l}}\right) \ln\left(1 + \left(\frac{\bar{l}}{25}\right)^2\right)}{\operatorname{arctg}\left(\frac{\bar{l}}{R}\right) - \frac{R}{2\bar{l}} \ln\left(1 + \left(\frac{\bar{l}}{R}\right)^2\right)} \right) - 10 \lg\left(\frac{25}{R}\right), \quad (4.39)$$

для максимальных уровней звука

$$\Delta L_{рас} = 10 \lg \left(\frac{\operatorname{arctg}\left(\frac{\bar{l}}{50}\right)}{\operatorname{arctg}\left(\frac{\bar{l}}{2R}\right)} \right) - 10 \lg\left(\frac{25}{R}\right), \quad (4.40)$$

где $\bar{l}$ – длина поезда или средняя длина поездов с вагонами различных типов, проходящих по рассматриваемому участку пути, м;

R – минимальное расстояние до расчетной точки от оси ближнего пути, м.

4.4.13 Снижение уровня звукового давления ΔL_{α}, дБ, вследствие ограничения угла видимости объекта из расчетной точки вычисляют по формуле

$$\Delta L_{\alpha} = 10 \lg \frac{180}{\alpha}, \quad (4.41)$$

где α – угол видимости неэкранированного участка линии метрополитена из расчетной точки, град (определяют по рисунку 4.3).

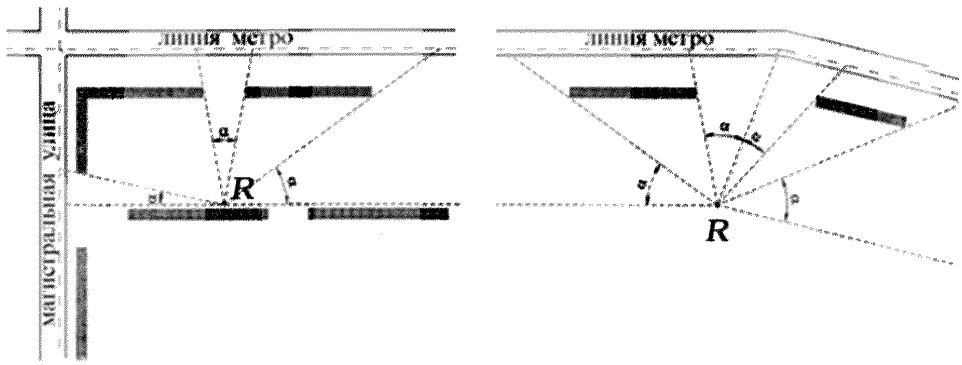


Рисунок 4.3 – **Примеры разбивки территории в окрестности линии метрополитена на участки, отличающиеся по условиям распространения шума**

4.4.14 Эквивалентный $L_{A\text{экв}}$ и максимальный $L_{A\text{макс}}$ уровни звука в расчетной точке определяют по формуле (4.4), подставляя в нее вместо $L_{\text{сум}i}$ эквивалентные $L_{\text{экв}i}$ и максимальные $L_{\text{макс}i}$ уровни звукового давления в октавных полосах частот.

При ориентировочных расчетах допускается определять значения эквивалентных и максимальных уровней звука без перехода к октавному спектру непосредственно по формулам (4.37), (4.38), подставляя в них вместо шумовых характеристик поездов и их потоков в октавных полосах частот $L_{\text{экв}25i}$ и $L_{\text{макс}25i}$ A-корректированные шумовые характеристики $L_{A\text{экв}25}$ и $L_{A\text{макс}25}$ и принимая значения входящих в них частотно зависимых величин для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц.

4.5 Порядок подбора мероприятий по обеспечению требуемого снижения шума

4.5.1 После определения значений требуемого снижения уровней шума в расчетных точках согласно 4.1.9 следует источники, шум от которых требуется снизить, разместить на территории объекта в месте, наиболее удаленном от расчетных точек. Эти источники и здания или сооружения, в которых они расположены, следует размещать таким образом, чтобы наиболее интенсивные источники шума были экранированы от расчетных точек зданиями или сооружениями с менее интенсивными источниками шума.

4.5.2 Излучающие конструкции источников, шум от которых требуется снизить, а также окна и двери помещений, в которых они установлены, следует ориентировать в сторону, противоположную направлениям на расчетные точки.

4.5.3 После выполнения архитектурно-планировочных мероприятий согласно 4.5.1, 4.5.2 необходимо провести перерасчет ожидаемых уровней шума и требуемого снижения уровней шума источников, к которым были применены вышеуказанные мероприятия.

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

4.5.5 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 и правилами,

установленными СП 271.1325800 и 4.5.6. Кроме того для вентиляторов, устанавливаемых открыто (крышные, передвижные компрессоры и т. п.) дополнительно к глушителям шума – установка шумозащитных кожухов в соответствии с 4.5.7;

- 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 градирен, моечных площадок автотранспорта и другого открыто расположенного оборудования – установка шумозащитных экранов и выгородок со стороны селитебной территории по 4.5.8.

4.5.6 Для снижения шума вентиляционных систем, компрессорных рекомендуется применять абсорбционные глушители: трубчатые, пластинчатые, канальные, а при необходимости, камерные и облицованные изнутри звукопоглощающими материалами (ЗПМ) воздуховоды и их повороты. Затухание звука в абсорбционных глушителях зависит от длины активной части, геометрии проходного сечения, толщины слоя ЗПМ, его плотности и коэффициента звукопоглощения, зависящего от физико-механических свойств этого материала.

Конструкцию глушителя следует подбирать в зависимости от назначения системы, требуемого снижения уровня шума, размера воздуховода в месте установки глушителя, допустимой скорости воздуха и предельно допустимого гидравлического сопротивления в сети в соответствии с СП 271.1325800.2016 (приложение В).

Необходимую длину трубчатых и пластинчатых глушителей следует подбирать таким образом, чтобы значения акустической эффективности глушителя в октавных полосах частот были не менее значений требуемого снижения уровней шума. 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 $F_{св}$, м^2, вычисляют по формуле

$$F_{св} = \frac{Q}{v_{доп}}, \tag{4.42}$$

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 $L_{Wдопi}$, вычисляемого по формуле

$$L_{Wдопi} = L_{Wвхi} - \Delta L_{трi}, \tag{4.43}$$

где $L_{Wвхi}$ – уровень звуковой мощности на входе в глушитель в i-й октавной полосе, дБ, вычисляемый по формуле

$$L_{Wвхi} = L_{Wi} - \Delta L_{Wiсети}, \tag{4.44}$$

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

$\Delta L_{Wiсети}$ – снижение уровня звуковой мощности по пути распространения звука в воздуховоде от вентилятора до глушителя в i-й октавной полосе, дБ, определяемого согласно 4.3.4.4;

$\Delta L_{трi}$ – требуемое снижение уровня звуковой мощности, дБ, определяемое согласно 4.1.10.

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:

$$\Delta L_F = 10\lg\frac{F}{0{,}4}, \quad (4.45)$$

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.

4.5.7 Кожухи для открыто стоящего оборудования, являющегося источником повышенного шума, следует проектировать из листовых несгораемых или трудно сгораемых материалов в соответствии с ГОСТ 31326 и СП 254.1325800.

Толщину стенок кожуха подбирают исходя из частотной характеристики требуемой изоляции воздушного шума $R_{k\text{тр}i}$, которую, в случае выполнения стенок кожуха с внутренним покрытием из звукопоглощающего материала, определяют по формуле

$$R_{k\text{тр}i} = \Delta L_{\text{тр}i} - \Delta R_i + 5, \quad (4.46)$$

где ΔR_i – поправка, дБ, вычисляемая по формулам:

а) для кожухов со звукопоглощающей облицовкой

$$\Delta R_i = 10\lg\alpha_{\text{обл}i}, \quad (4.47)$$

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

б) для необлицованных кожухов

$$\Delta R_i = 10\lg\frac{S_{\text{ист}}}{S_к}, \quad (4.48)$$

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

S_k – площадь поверхности кожуха, м^2.

Примечание – При $\alpha_{\text{обл}i} < 0{,}4$ в данной октавной полосе кожух можно считать необлицованным и выполнять расчет ΔR_i по формуле (4.48).

Изоляция воздушного шума стенками кожуха R_i должна быть не менее $R_{k\text{тр}i}$ во всем нормируемом диапазоне частот.

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 $R_{k\text{тр}i}$ 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.

4.5.8 Требования, связанные с выбором и применением конкретных конструкций экранов и других наружных ограждений, обеспечивающих требуемое экранирование стационарных и движущихся объектов, установлены в СП 51.13330, ГОСТ 33329, СП 254.1325800 и СП 276.1325800. Отдельные положения приведены в приложении В.

4.5.9 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 $\Delta L_{\text{сум.тр}}$ в формулах (4.1), (4.3), (4.5), (4.6) хотя бы для одной из расчетных точек необходимо выявить

обусловливающие этот факт причины и устранить их, подобрав соответствующее шумозащитное мероприятие.

5 Акустическое проектирование станций метрополитена

5.1 Общие положения

5.1.1 Настоящий свод правил включает последовательность акустического проектирования основных помещений и залов станций в уровне посадочных платформ метрополитенов с использованием архитектурно-строительных и электроакустических средств.

5.1.2 Использование в полной мере акустических мероприятий, разработанных на основе настоящего свода правил, позволяет 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 1 и 11 по ГОСТ 25902.

5.1.3 При акустической приемке помещений, оборудованных акустическими средствами, следует проводить измерения уровней шумового фона согласно ГОСТ 23941, измерение времени реверберации согласно ГОСТ Р ИСО 3382-1 и измерения разборчивости речевой информации согласно ГОСТ 25902.

5.2 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 5.1), с допустимым подъемом на низких частотах (125–250 Гц) не более чем 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 %.

5.3 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 5.2. Ниже приведено содержание всех необходимых операций.

5.3.1 На первом этапе (см. рисунок 5.2) проводят подбор всех архитектурных чертежей проектируемого 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 следует рассчитать все геометрические параметры зала станции (площади всех участков ограждений и общий воздушный объем).

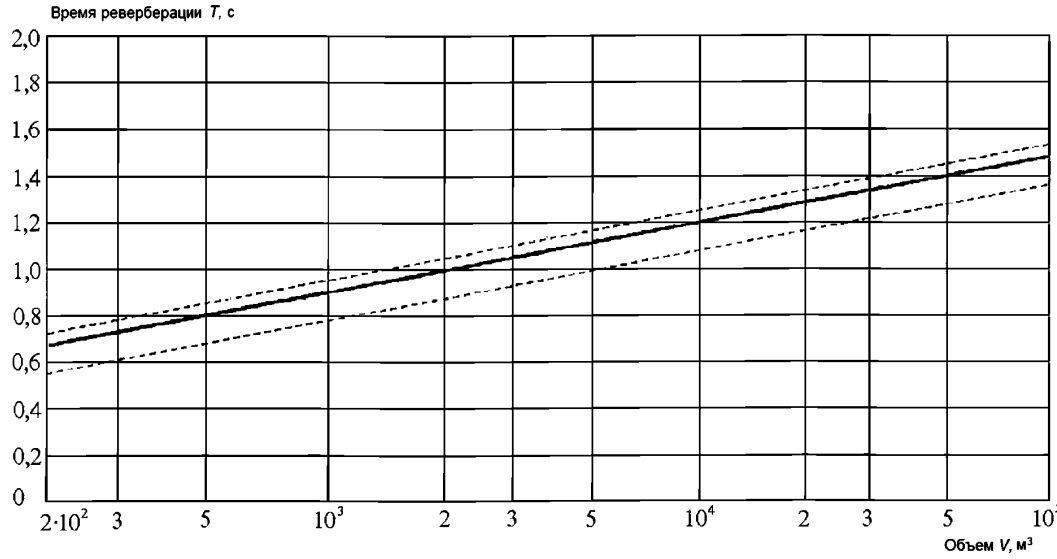
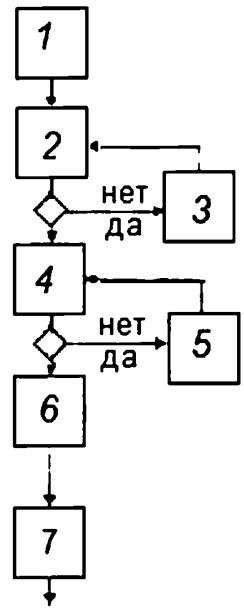


Рисунок 5.1 **– Рекомендуемое время реверберации на частотах 500 – 2000 Гц для залов станций на уровне посадочных платформ метрополитена**



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

Рисунок 5.2 – **Блок-схема последовательности операции (этапов) акустического проектирования станций метрополитена**

5.3.2 На втором этапе (см. рисунок 5.2) следует рассчитать уровни 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 L в некоторой точке помещения, рассчитываемый в общем виде как сумма прямого и диффузно-рассеянного звука вычисляют по формуле

$$L = 10\lg\left\{\sum_{i=1}^{N}\frac{\Phi_i W_i}{4\pi r_i^2} + \frac{4}{B}\sum_{i=1}^{N} W_i\right\}, \quad (5.1)$$

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

здесь L_{Wi} – 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;

Φ_i – фактор направленности i-го источника звука;

N – общее количество источников звука;

r_i – расстояние исследуемой точки поля до i-го источника звука;

B – постоянная зала, м^2, вычисляемая по формуле

$$B = \bar{\alpha}\, S / (1 - \bar{\alpha}), \quad (5.2)$$

где S – общая площадь ограждений станции, включая все элементы интерьера;

$\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения (КЗП) зала станции в соответствующем диапазоне частот, вычисляемый по формуле

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_k \alpha_k S_k + \sum_m A_m}{S}, \quad (5.3)$$

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

A_m – эквивалентное звукопоглощение (ЭЗП) отдельных штучных звукопоглотителей.

В часы пик уровни шума, создаваемые при въезде на станцию поездами, значительно превышают фоновой шум от пассажиров. Поэтому необходимо для приблизительных расчетов свести все источники шума к двум главным одновременно входящим на станцию поездам одного типа. В этом случае формула (5.1) преобразуется к виду:

$$L = L_{W\text{п}} + 10\lg\left\{\sum_{i=1}^{2}\frac{\Phi_i}{4\pi r_i^2} + \frac{8}{B}\right\}, \quad (5.4)$$

где $L_{W\text{п}}$ – уровень звуковой мощности источников шума, вычисляемый по формуле

$$L_{W_\text{п}} = 10\lg\frac{W_\text{п}}{W_0}. \quad (5.5)$$

Пиковая мощность звукоизлучения $W_\text{п}$ поезда определяется при входе на станцию в соответствующей октавной полосе частот. Фактор направленности звукоизлучения электропоезда Φ_i вычисляют по формуле

$$\Phi_i = \frac{l + h}{b}, \quad (5.6)$$

где l – длина части свода потолка над электропоездом;

h – высота стены от лотка до свода;

b – ширина пути.

Фактор направленности Φ_i не может быть менее четырех (т. е. 6 дБ), что можно использовать в ориентировочных расчетах, исходя из которых формулу (5.4) можно преобразовать к виду:

$$L = L_{W_{\text{п}}} + 10\lg\left\{\sum_{i=1}^{2}\frac{1}{\pi r_i^2} + \frac{8}{B}\right\}. \quad (5.7)$$

Перед началом расчетов план зала станции необходимо разбить 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 (при наличии).

При проведении расчетов по формулам (5.4)–(5.7) 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. второй член формул (5.4) и (5.7)) заведомо превалирует над полем прямого звука

$$R = 0{,}35\sqrt{\frac{\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}S}, \quad (5.8)$$

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 (5.7), сравнивается с допустимой кривой уровней предельных спектров. Допустимые уровни шума на платформах и вестибюлях станций метрополитена представлены в таблице 5.1. При этом следует учитывать, что, если расчеты уровней шума для некоторых частот практически совпадут со значениями таблицы 5.1, это является недостаточным, т. к. существует пренебрежение 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 5.1. Это требование должно быть особенно тщательно соблюдено для диапазона 125–1000 Гц, т. к. в данной области частот наблюдается максимальная спектральная плотность разговорной речи.

Таблица 5.1 – **Допустимые уровни звукового давления**

Допустимый уровень звукового давления, дБ, в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц								Допустимый уровень звука, дБ*A*
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
94	87	82	78	75	73	71	70	80

Уровень звука по шкале «*A*», максимально коррелированной с характеристиками слухового восприятия L_A, вычисляют по формуле

$$L_A = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{8} 10^{0,1[L_i(f)+K_{Ai}]}\right), \quad (5.9)$$

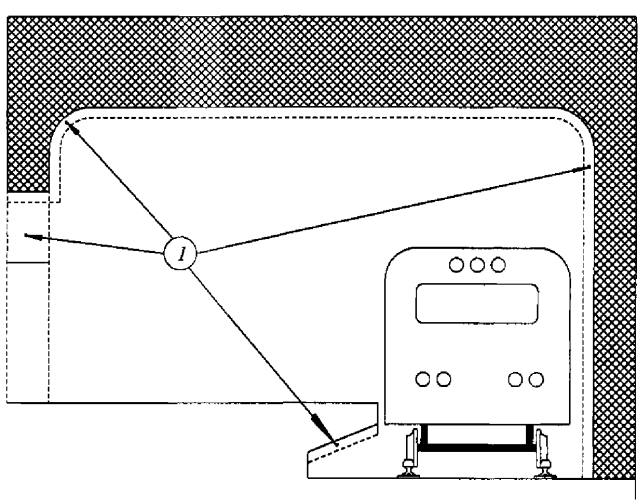
где L_i (f) – рассчитанные уровни звука в октавных полосах частот, дБ;

K_{Ai} – поправочные коэффициенты для каждого диапазона частот, дБ.

При превышении расчетных уровней шума над нормативными следует проводить первую коррекцию проектного решения зала станции (см. рисунок 5.2).

5.3.3 Первая коррекция проекта (третий этап по рисунку 5.2) базируется на том, что в шумных помещениях с распределенными источниками шума наиболее эффективными средствами борьбы с шумом являются подавление шума в источнике и ближнем поле (прямой звук и звук, отраженный от ближайших отражающих поверхностей). Для шумоглушения необходимо разместить эффективные звукопоглощающие конструкции на стенах вдоль поездных путей и на части потолков (сводов) над ними. Общие требования к звукопоглощающим материалам и конструкциям, допускаемым к применению на станциях метрополитена, приведены в приложении Г.

В приложении Д представлены частотные характеристики КЗП наиболее распространенных в практическом применении материалов и конструкций. Рекомендованные места обязательного размещения звукопоглощающих материалов представлены на рисунке 5.3. После выбора и размещения по рисунку 5.3 звукопоглощающих материалов проводят контрольный расчет корректированного уровня звука в характерных точках зала станций метрополитена по формуле (5.7), с учетом нового значения постоянной зала B. Если и в данных условиях, уровни частотной характеристики шума будут превышать соответствующие нормативные значения по таблице 5.1, 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 [3].



1 – звукопоглощающая облицовка

Рисунок 5.3 **– Схема обязательных мест размещения звукопоглощающей отделки на станциях метрополитена**

После каждого этапа введения дополнительного звукопоглощения в интерьер помещения проводят контрольные расчеты уровней шумового фона по формуле (5.6), пока на очередном этапе не будут достигнуты нормативные значения уровней шумового фона.

Для ориентировочных расчетов минимально необходимый общий фон звукопоглощения зала станции $A_{треб}$ вычисляют по формуле

$$A_{треб} = \frac{SB_{треб}}{S + B_{треб}}, \quad (5.10)$$

где $B_{треб}$ – требуемая по расчету величина постоянной зала, вычисляемая по формуле

$$B_{треб} = 10^{-0,1(\Delta m - 9)}, \quad (5.11)$$

здесь Δm – разность между расчетными и допустимыми уровнями шума, вычисляемая по формуле

$$\Delta m = L_{доп} - L_n, \quad (5.12)$$

здесь $L_{доп}$ – допустимые уровни шумового фона, определяемые с помощью таблицы 5.1.

5.3.4 На четвертом этапе (см. рисунок 5.2) акустического проектирования проводят контрольный расчет частной характеристики времени реверберации на предмет соответствия разработанного акустического решения отделки ограждений помещения станций, рекомендованным зонам оптимумов $T(V)$, приведенным на рисунке 5.1. Время реверберации T вычисляют по формуле [4]

$$T = \frac{0,163V}{S\varphi(\alpha) + nV}, \quad (5.13)$$

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 $\bar{\alpha}$, вычисляемая по формуле

$$\varphi(\alpha) = -\ln(1 - \bar{\alpha}), \quad (5.14)$$

где 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 (5.1), (5.2).

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.

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 находится в трубке, указанной пунктиром на рисунке 5.1. При этом значения 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 допущениям 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 5.1); в диапазоне низких частот (125–250 Гц) допускается расхождение в пределах $T_{опт} \pm 20$ %, при этом предпочтение следует отдать снижению времени реверберации на низких частотах.

5.3.5 В случае значительного превалирования расчетного времени реверберации $T_{расч} > T_{опт}$, следует проводить вторую коррекцию проекта (пятый этап по рисунку 5.2) на предмет существенного увеличения фонда звукопоглощения зала станции $A_{расч}$, определяемого по формуле

$$A_{расч} = \bar{\alpha}_{расч} S. \quad (5.15)$$

Требуемый добавочный фонд звукопоглощения $\Delta A_{треб}$ вычисляют по формуле

$$\Delta A_{\text{треб}} = A_{\text{опт}} - A_{\text{расч}}, \quad (5.16)$$

где $A_{\text{опт}}$ – оптимальный фонд звукопоглощения зала станции, вычисляемый по формуле

$$A_{\text{опт}} = \bar{\alpha}_{\text{опт}} S, \quad (5.17)$$

здесь $\bar{\alpha}_{\text{опт}}$ – оптимальный коэффициент звукопоглощения, вычисляемый по формуле

$$\varphi(\bar{\alpha}_{\text{опт}}) = -\ln(1-\bar{\alpha}_{\text{опт}}) = V\frac{0{,}163 - T_{\text{опт}} n}{T_{\text{опт}} S}. \quad (5.18)$$

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

Необходимо отметить, что расчет времени реверберации по формулам (5.13)–(5.18) 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 диспропорцианальности 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 отдельных 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 5.3);

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 (5.13) 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) определяется следующими формулами (каждый из раздельных объемов условно назван по номерам: первым и вторым):

$$L_1(t) = 10\lg\left\{e^{\delta_1 t} + K_{1,2}e^{\delta_2 t}\right\} \;;\; L_2(t) = 10\lg\left\{e^{\delta_2 t} + K_{1,2}e^{\delta_1 t}\right\}, \quad (5.19)$$

где δ_1 и δ_2 – постоянные затухания звука в соседних объемах станции, вычисляемые по формулам:

$$\delta_1 = 85\frac{S_1'}{V_1}\ln(1-\bar{\alpha}_1) \;;\; \delta_2 = 85\frac{S_2'}{V_2}\ln(1-\bar{\alpha}_2) \;, \quad (5.20)$$

здесь 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;

$\bar{\alpha}_1$ и $\bar{\alpha}_2$ – средние КЗП каждого из объемов станции;

$K_{1,2}$ – коэффициент акустической связи между соседними объемами станции, вычисляемый по формуле

$$K_{1,2} = \frac{S_{1,2}^2}{(\bar{\alpha}_1 S_1')(\bar{\alpha}_2 S_2')}. \quad (5.21)$$

Расчеты по формулам (5.19)–(5.21) следует проводить численно, с кусочно-линейной аппроксимацией отдельных участков отзвуков, наиболее важными из которых является 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, следует проводить на стадии электроакустического расчета зала станции, т. к. станции метрополитена работают только в режиме оповещения через систему озвучения. Исключением здесь является расчет и построения структуры отражений зала станции от виртуального источника звука на предмет анализа эффектов возможной концентрации отражений, эхо и флаттера. Такие построения делают или графически на масштабных чертежах станций, или с помощью программ компьютерного моделирования акустики зальных помещений.

5.3.6 Электроакустический расчет залов станций метрополитена (шестой этап по рисунку 5.2) следует начинать с выбора типа системы озвучения и расчета необходимой общей мощности электроакустических трактов. 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.

Минимально требуемую общую акустическую мощность звукоизлучателей $P_{ак}$, Вт, вычисляют по формуле

$$P_{ак} \geq 0{,}37\cdot 10^{-13}\cdot\frac{V}{T}\cdot 10^{0{,}1\,\bar{L}_{треб(f)}} \;, \quad (5.22)$$

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 (5.22) следует учесть допустимые уровни шума в октавных полосах частот (таблица 5.1), при условии, что обеспечение этих уровней в исследуемом зале станции уже достигнуто на предыдущих этапах расчета. Далее следует увеличить значения 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 допускается использовать обычно рекомендуемый средний уровень звука на станции метрополитена, равный $\bar{L}_{\text{треб}} \cong 100$ дБ, исходя из которого формула (5.22) преобразуется к виду

$$P_{\text{ак}} \geq 0{,}37 \cdot 10^{-3} \frac{V}{T} \quad . \tag{5.23}$$

Общую минимально требуемую электрическую мощность источников звука $P_{\text{эл}}$ вычисляют по формуле

$$P_{\text{эл}} \geq \frac{P_{\text{ак}}}{\eta} \Pi , \tag{5.24}$$

где η – КПД звукоизлучателей (обычно не более 1 %);

Π – пик-фактор акустического сигнала (у средней речи не более пяти).

Требуемую общую мощность системы озвучения следует равномерно распределять системой излучателей по всем зонам нахождения пассажиров. При этом минимально необходимое количество громкоговорителей и структуру их размещения (цепочки, решетки) определяют 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 первого условия, радиус действия прямого звука системы озвучения R_d вычисляют по формуле

$$R_d \approx 0{,}1 \sqrt{\frac{BD(\Theta)}{M}} , \tag{5.25}$$

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

$D(\Theta)$ – показатель направленности излучателя на исследуемую точку в зависимости от угла Θ (в том же диапазоне);

M – общее количество 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 значение постоянной станции уже определено акустическим расчетом, а параметр $D(\Theta)$ современных акустических систем известен, то варьируя величины R_d и M можно дополнительно оптимизировать распределение громкоговорителей по ограждениям 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 обеих 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 данного расчета 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.

При правильно проведенном расчете практически все зоны озвучиваемого зала станции метрополитена окажутся фактически в зоне действия прямого звука $L_{пр}$, дБ, уровень которого вычисляют по формуле

$$L_{пр} = 20\lg p_1 + 20\lg D(\Theta) - 20\lg(r/r_0) + 94, \quad (5.26)$$

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

Контрольные расчеты уровней звука по формулам (5.23)–(5.26) позволяют 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 используется упрощенный метод расчета разборчивости речи по шести 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 должна относится к центральной частоте 6000 Гц, соответствующей последней, 20-й полосе, равной разборчивости речи. Далее следует определить уровень ощущения формант E в каждой полосе по формуле

$$E = L_p - L_ш, \quad (5.27)$$

где L_p – 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 определяют коэффициент разборчивости W в каждой полосе по формуле

$$W = \frac{E + 6}{30}, \quad (5.28)$$

что позволяет определить формантную разборчивость A по формуле

$$A = 0{,}05\,[W_1 + 3\,W_2 + 4\,W_3 + 6\,W_4 + 5\,W_5 + W_6], \quad (5.29)$$

где 1–6 – номера октав.

По формантной разборчивости A определяют слоговую разборчивость S по таблице 5.2.

Таблица 5.2 – **Зависимость слоговой разборчивости *S* от формантной разборчивости *A***

A	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

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

При использовании в акустических расчетах применяют два критерия разборчивости: быстрая оценка индекса передачи речи и индекс четкости. Значения первого из них не должны быть менее 0,75, а второго – не менее –3 дБ.

5.3.7 Акустическое и электроакустическое проектирование станций метрополитена завершают выводом данных (седьмой этап акустического проектирования по рисунку 5.2) 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 озвучивания станции.

5.4 Методика акустической реконструкции действующих станций метрополитена

При подготовке к реконструкции действующие залы станций метрополитена, 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.

5.4.1 Подготовительный этап, состоящий из ознакомления на месте с акустической обстановкой зала станции, субъективной оценки уровней шумового фона и разборчивости информационной речи, подготовки и анализа масштабных чертежей зала станции метрополитена, подготовки и поверки измерительных комплектов приборов.

5.4.2 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, указанные в 5.3.

Акустические измерения проводят в следующей последовательности.

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

5.4.2.2 Измерения шумового режима станции во всех отмеченных точках, согласно ГОСТ 23337. Измерения проводят в часы пик, при полном заполнении станции, при въезде на станцию одного-двух поездов и при их отсутствии. Полное количество точек измерений и продолжительность выборок должны соответствовать требуемой статистической погрешности результатов измерений.

5.4.2.3 Измерения времени реверберации проводят в обязательном порядке в пустом зале станции согласно ГОСТ Р ИСО 3382-1. 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 проводят в заполненном зале станции.

5.4.2.4 Комплекс электроакустических измерений, включающих измерения поля уровней, частотной характеристики передачи и неравномерности звукового поля в 1/3-октавных полосах частот. Все измерения проводят в пустом зале станции, в номинальном режиме озвучения, при подаче на вход системы розового шума.

5.4.2.5 Испытания разборчивости речи на системе озвучения зала станции согласно ГОСТ 25902. При сложности организации артикуляционных испытаний на действующих станциях метрополитена следует использовать расчетный метод оценки разборчивости речи по формулам (5.26)–(5.28) на основании данных натурных измерений октавных уровней полезного сигнала и шума или использовать приборы и процессорные устройства, измеряющих разборчивость методом оценки индекса передачи речи (RASTI).

5.4.3 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 проводились 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 (5.13) вводить путем обратного пересчета поправку $\Delta A_{\text{п}}$ 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 формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A_n}{A_з}, \tag{5.30}$$

где A_n – общий фонд ЭЗП зала станции, полученный на основе измерений времени реверберации в пустом зале станции;

$A_з = A_n + \Delta A_{\text{пас}}$ – общий фонд ЭЗП зала станции при максимальном заполнении пассажирами,

где $\Delta A_{\text{пас}}$ – добавочное звукопоглощение, вносимое пассажирами, вычисляемое по формуле

$$\Delta A_{\text{пас}} = 2 S_{\text{пола}} a_1(f), \tag{5.31}$$

где $S_{\text{пола}}$ – площадь пола станции, м^2;

$a_1(f)$ – КЗП стоящих пассажиров при плотности расстановки 0,5 м^2/чел.

5.4.4 Анализ результатов измерений служит основанием для технического задания на разработку акустической части проекта реконструкции залов станций. При этом сама методика акустического проектирования должна соответствовать общей структурной схеме (рисунок 5.2). Следует учитывать фактор существования уже построенной станции с соответствующими конструкциями ограждений. Вследствие этого акустическая коррекция зала станции (этапы 2 и 4 по рисунку 5.2) должны быть совмещены в один этап, после завершения которого необходимо проведение контрольных акустических измерений. Также контрольные измерения должны быть произведены после завершения электроакустической коррекции зала станции.

5.5 Пример акустического проектирования зала станции в уровне посадочной платформы метрополитена

Рассматривается типовой проект зала станции в уровне посадочной платформы метрополитена мелкого заложения. 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 ~ 5м. Станции такого типа получили достаточно широкое распространение.

Ввиду того, что обследуемые залы не имеют разделяемых объемов, несмотря на диспропорциональность их основных размеров, расчеты времени реверберации T, общего фонда звукопоглощения A и постоянной помещения B следует проводить на основании формулы (5.13). В таблице 5.3 приведены результаты расчетов времени реверберации зала станции $T_0(f)$, среднего КЗП $\bar{\alpha}(f)$ и постоянной помещения $B_0(f)$. Интерьер зала станции на уровне посадочной платформы: пол – шлифованный камень, стены – гладкие плиты, потолок и своды – бетонные поверхности с побелкой и покраской. В таблице 5.3 приведены результаты измерений уровней звуковой мощности подвижного состава при входе на

станцию $L_{макс}(f)$. Все расчеты проводят из условия минимального заполнения зала станции пассажирами (~ 6 м^2/чел.).

Средний радиус действия прямого звука R, согласно формуле (5.8), составил 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 $r \approx 5–7$ м. Расчетный уровень фонового шума по формуле (5.7) для уровня $L_{макс}$ на полосе максимального излучения, согласно таблице 5.3 при 500 Гц, показывает величину $L_0 \cong 84{,}5$ дБ. Но по таблице 5.1 полученное значение оказывается для выбранной полосы частот более на 6,5 дБ допустимого $L_{доп} = 78$ дБ. Т. к. вся платформа находится в зоне действия прямого звука, для расчета требуемого для достижения нормативного уровня фонового шума общего фонда звукопоглощения $A_{треб}$ следует применить не упрощенную формулу (5.10), а проводить расчеты по полной формуле (5.7). Указанное условие выполняется при обеспечении постоянной помещения $B_{треб} \geq 2200$. Отсюда по формуле (5.2) следует, что средний КЗП зала станции должен возрасти до $\bar{\alpha} \geq 0{,}2$.

Таблица 5.3 – **Результаты расчетов величин T_0, $\bar{\alpha}_0$, B_0 и измерение уровня $L_{макс}$**

Величина	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, м^2	976	1077	1180	1286	1394	1505
$L_{макс}$, дБ	86	91,5	99	97	86	77,5

Для обеспечения среднего КЗП, равного 0,2 и более следует отделать потолок над полом платформы стандартными звукопоглощающими плитами, имеющими КЗП 0,3–0,6 в диапазоне от низких к высоким частотам (приложение Д). В таблице 5.4 приведены значения среднего КЗП $\bar{\alpha}_1(f)$, времени реверберации $T_1(f)$ и постоянной помещения зала станции метрополитена $B_1(f)$, которые рассчитаны указанными выше методами при наличии звукопоглощающей отделки потолка станции над платформой. В таблице 5.4 приведены также результаты расчетов уровней фонового шума $L_ш$ (см. формулу (5.6)).

Таблица 5.4 – **Результаты расчетов величин $\bar{\alpha}_1$, T_1, B_1 и уровня фонового шума $L_ш$**

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

Из сравнения уровней фонового шума, рассчитанных при звукопоглощающей отделке центральной части потолка станции метрополитена с допустимыми уровнями шума в соответствующих октавных полосах по таблице 5.1, следует, что в диапазонах 500–1000 Гц наблюдается существенное превышение нормативных уровней; критичным моментом является также частота 4000 Гц, важная для обеспечения разборчивости речевой информации. Эффективное снижение уровней шума в диапазоне средних частот может быть достигнуто как снижением шума в источнике, так и дополнительным эффективным заглушением ближних ограждений части потолка, расположенного над путями, и стен сбоку от путей (см. рисунок 5.3). Возможен также вариант с тщательной проработкой системы озвучения, с тем чтобы по всем зонам обеспечить существенное превалирование прямого звука и высокое отношение сигнал/шум. Для этого необходимо получить оптимальное значение времени реверберации, что, как показал расчет, обеспечено во всем

диапазоне, кроме частот ниже 250 Гц. Последнее должно быть учтено при расчете системы звукоусиления.

Сохранение полностью звукоотражающих поверхностей на всех стенах зала приводит к возникновению эффекта порхающего эха, что отрицательно влияет на звукопередачу речевого сигнала. Поэтому при расчете системы звукоусиления необходимо обеспечить отношение сигнал/шум не менее 15 дБ во всем диапазоне частот во всех зонах зала станции, для чего требуемый по условию (5.23) уровень $L_{треб}$ = 100 дБ должен быть создан при работе системы, как минимум, в диапазоне частот 500–1000 Гц. Исходя из этого расчет минимально необходимой акустической мощности по условию (5.23) при Т ≅ 1,1–1,2 с приводит к $P_{ак}$ ≅ 5 Вт, по формуле (5.24) получаем требуемую электрическую мощность $P_{эл}$≅ 2500 Вт. Современные широкополосные акустические излучатели средней мощности имеют $P_{эл}$ ≅ 25 Вт, откуда общее количество таких излучателей в зале станции должно быть 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 $L_n = L/M$ (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 (5.25)), 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 три цепочки из высоко-среднечастотных остронаправленных громкоговорителей мощностью 12,5 Вт, равномерно распределенных по центральной оси свода и верхней части стен (или, если это технически трудноосуществимо, 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 (5.24) показывает, что величина A повсеместно превышает 0,65, что обеспечивает слоговую разборчивость более 90 % (см. таблицу 5.2).

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

5.6 Методика акустического проектирования при помощи программных средств

В современной акустике залов широко используются компьютерные программы математического моделирования звуковых процессов в закрытых помещениях с расчетом известных параметров акустического качества залов различного назначения, в т. ч. и тех, которые приведены в подразделах 5.1–5.5. Специфика формирования звуковых полей в залах ожидания метрополитенов, вследствие опасности возникновения в них избыточного шумового фона от стационарных и движущихся источников шума, привела к необходимости разработки уникального алгоритма оптимальных методов акустического проектирования, сочетающих средства строительной, архитектурной и электроакустики (см. рисунок 5.2), главной целью которой является достижение нужного соотношения сигнал/шум, как необходимого условия для достижения, с помощью систем озвучания, требуемой разборчивости информационной речи.

При разработке комплекса мероприятий по улучшению акустики действующих станций метрополитена (см. 5.4), программы моделирования акустики зальных помещений могут быть с применены в том случае, если задачей реконструкции является коррекция отделки ограждений зала станции с целью приближения времени реверберации к значениям

объемного оптимума (см. рисунок 5.1) и перестройки систем озвучения для достижения требуемой разборчивости речевой информации.

6 Методы измерения и оценки шума в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов в метрополитенах

6.1 Общие положения

6.1.1 Методы измерения и оценки шума в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов в метрополитенах разработаны в соответствии с требованиями СП 51.13330, ГОСТ 23337, [1].

6.1.2 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.

6.1.3 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 невозможно (см. 6.4.9).

6.2 Нормируемые параметры и допустимые уровни шума

6.2.1 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.

6.2.2 Нормируемыми параметрами шума являются эквивалентные $L_{A\text{экв}}$ и максимальные $L_{A\text{макс}}$ уровни звука, дБA.

Оценку шума на соответствие допустимым уровням следует проводить одновременно по обоим параметрам $L_{A\text{экв}}$ и $L_{A\text{макс}}$ (см. 6.6).

6.2.3 Допустимые уровни звука, на соответствие которым следует проводить оценку шумового воздействия в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов в метрополитенах, принимают для дневного (с 7 ч до 23 ч) и ночного (с 23 ч до 7 ч) времени суток.

6.3 Средства измерений

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

Допускается запись временной истории, применяемой измерительной системой с последующей обработкой записанной информации.

6.3.2 Средства измерений должны иметь действующее свидетельство о поверке.

6.4 Условия и правила проведения измерений

6.4.1 Измерения уровней шума следует проводить по ГОСТ 23337.

6.4.2 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.

6.4.3 При измерениях окна и двери должны быть закрыты; форточки и фрамуги при оценке шума от подземных участков линий метрополитена также закрыты, при оценке шума от наземных и надземных участков линий – открыты.

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

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

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

6.4.7 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 согласно 6.5.3.

6.4.8 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.

6.4.9 Перед проведением измерений в каждой точке необходимо оценить влияние фонового шума в помещении. Для этого измеряют эквивалентный $L_{A\text{экв}}$ и максимальный $L_{A\text{макс}}$ уровни звука за интервал времени T, а также $L^{\Phi}_{A\text{экв}}$ и $L^{\Phi}_{A\text{макс}}$ фонового шума за время между прохождениями поездов ($L^{\Phi}_{A\text{макс}}$ – для интервала, для которого зарегистрировано наибольшее значение $L_{A\text{макс}}$). Вычисляют разности $\Delta L_{A\text{экв}} = L_{A\text{экв}} - L^{\Phi}_{A\text{экв}}$ и $\Delta L_{A\text{макс}} = L_{A\text{макс}} - L^{\Phi}_{A\text{макс}}$.

При $\Delta L_{A\text{экв}} < 3$ дБ и $\Delta L_{A\text{макс}} < 3$ дБ оценку шумового воздействия от движения поездов метрополитена в соответствии с настоящим сводом правил выполнить невозможно.

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

При $\Delta L_{A\text{экв}} \geq 3$ дБ и $\Delta L_{A\text{макс}} \geq 3$ дБ оценку следует проводить одновременно по измеренным значениям обоих параметров шума, при этом в значения $L_{A\text{экв}}$ должна быть внесена поправка на уровень фонового шума согласно 6.5.3.

Для повышения надежности результата целесообразно измерения $L^{\Phi}_{A\text{экв}}$ повторить после выполнения измерений и усреднить по 6.5.2.

6.4.10 Выбирают точку с наибольшими значениями $L_{A\text{экв}}$ и $L_{A\text{макс}}$. Дальнейшие измерения и обработку результатов проводят в этой точке.

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

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

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

6.5 Обработка результатов измерений

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

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

$$\overline{L}_{A\text{экв}} = 10\lg\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} 10^{0{,}1L_{A\text{экв}i}}\right). \quad (6.1)$$

Примечание – Если разность между наибольшим и наименьшим из измеренных значений $L_{A\text{экв}i}$ не превышает 5 дБ, средний эквивалентный уровень звука может быть вычислен как среднеарифметическое значение по формуле

$$\overline{L}_{A\text{экв}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_{A\text{экв}i}\ . \quad (6.2)$$

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

$$L_{A\text{экв}M} = \overline{L}_{A\text{экв}} + K + 10\lg\left(\frac{n_{T\text{макс}}}{n_T}\right) + 10\lg\left(\frac{T_m}{T_0}\right) - 15, \quad (6.3)$$

где K – поправка на уровень фонового шума, дБ;

$n_{T\text{макс}}$ 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 $\Delta L_{A\text{экв}}$ уровней измеряемого и фонового шума (см. 6.4.9), в соответствии с таблицей 6.1.

Таблица 6.1

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

6.5.4 Эквивалентный уровень звука за время оценки шумового воздействия $L_{A\text{экв}R}$ (16 ч днем и 8 ч ночью) вычисляют по формуле

$$L_{A_{\text{экв}R}} = \overline{L}_{A_{\text{экв}}} + 10\lg\left(\frac{T_m}{T_0}\right) - 10\lg n_T - C, \quad (6.4)$$

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.

6.6 Оценка шумового воздействия

Оценку шумового воздействия в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов метрополитена выполняют в соответствии с [1] посредством сравнения определенных по 6.5.1 и 6.5.3 значений максимального $L_{A\text{макс}R}$ и эквивалентного $L_{A\text{экв}M}$ уровней звука.

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

При $L_{A\text{экв}M} > L_{A\text{экв,доп}}$ или $L_{A\text{макс}R} > L_{A\text{макс,доп}}$ – 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 $L_{A\text{экв}R}$, характеризующего воздействие за дневное (16 ч) и ночное (8 ч) время.

6.7 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 поверке);
- 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 ($L_{A\text{макс}R}$, $\bar{L}_{A\text{экв}}$, $L_{A\text{экв}M}$, $L_{A\text{экв}R}$);
- заключение по результатам оценки;
- подписи лиц, проводивших измерения и оценку шумового воздействия.

Приложение А

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 [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 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.

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 дБ*А* выше. Увеличение вдвое толщины обоих стекол повышает звукоизоляцию примерно на 5 дБ*А*.

При наличии уплотняющих прокладок увеличение воздушного промежутка способствует повышению звукоизоляции на несколько дБ*А*. 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 дБ*А*, то без прокладки она снижается до 21 дБ*А*. 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.

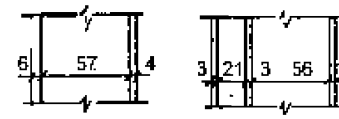
А.6 При применении окон с тройным остеклением следует учитывать специфику работы этих конструкций. При установке среднего стекла в середине воздушного промежутка звукоизоляция окна не только не повышается, но даже несколько ухудшается в наиболее важной для защиты от транспортного шума низкочастотной 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 параметры окна.

Таблица А.1 – **Снижение транспортного шума ΔL, дБA, различными конструкциями окон**

№ п/п	Тип конструкции окна	Формула остекления, мм	Снижение транспортного шума ΔL, дБA	
			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 со стеклопакетом и стеклом по ГОСТ 24699	(3+21+3)+ 56+3	33	15
4	Раздельная по ГОСТ 11214	3+95+3	28	15
5	Раздельная по ГОСТ 11214	6+95+4	31	15
7	Раздельно-спаренная по ГОСТ 11214	3+57+3+ 46+3	33	15
8	Окно в раздельных деревянных переплетах с двойным остеклением	4+90+4	32	17
9	Окно в раздельных деревянных переплетах с двойным остеклением и накладным оконным шумозащитным экраном в наружных откосах	4+90+4+60+4	40	27
10	Окно теплозвукоизоляционное (двухкамерный стеклопакет) с двухколенным воздухообменным клапаном, остеклением (клапан закрыт заслонками)	4+16+4+116+1×4	37	36
11	Окно теплозвукоизоляционное с двухколенным клапаном, остеклением (клапан закрыт заслонками)	4+16+4+116+2×4	39	38
12	Окно в одинарных переплетах с двухкамерным щумозащитным стеклопакетом и интегрированным в оконную коробку горизонтальным клапаном	4+12+4+16+6	–	30
13	Окно в одинарных переплетах с двухкамерным стеклопакетом и одноколенным клапаном, встроенным в откос окна (форточки закрыты, вентиляционный клапан в откосе одноколенный с шумопоглащающим рукавом	4+12+4+12+4	30	–
14	Окно в одинарных переплетах с двухкамерным стеклопакетом и трехколенным клапаном, встроенным в откос окна (форточки закрыты, вентиляционный клапан в откосе с тремя поворотами и шумопоглощающим рукавом	4+12+4+12+4	33	–
15	Остекление балконов и лоджий	3	17	7

Примечания

1 Меньшие значения в формуле остекления соответствуют толщинам стекол, большие – воздушным промежуткам между стеклами в соответствии со схемами, например, для позиций 1 и 3:



2 При расчетах для остекления балконов и лоджий значение ΔL, дБ, в закрытом положении (столбец 4) суммируется со значениями ΔL, дБ, для окон.

Таблица А.2 – **Двери с повышенной звукоизолирующей способностью R_A, дБ*А***

Конструкция полотна двери	Условия прилегания полотна по периметру притвора	Звукоизоляция, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						R_A, дБ*А*
		125	250	500	1000	2000	4000	
Стандартное дверное полотно толщиной 40 мм	Через прокладку из пенополиуретана сечением 10×5 мм.	18	21	24	24	23	27	21
	Через прокладку из пористой резины сечением 14×3 мм	21	25	25	26	26	23	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

Приложение Б

Уровни звуковой мощности шума, генерируемого в шумоглушителях

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

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

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 15 20	47 55 61	48 56,5 62,5	48,5 55,5 61,5	50,5 57,5 62	47,5 57,5 62,5	41 54,5 62	32 46 57,5	23,5 38,5 50
С цилиндрическими обтекателями только на входе	200	10 15 20	44 53 58,5	45,5 54 60	48,5 55,5 60,5	48 57,5 61	45 56,5 61	38,5 54 59,5	28,5 46 52,5	21,5 35,5 44,5
С цилиндрическими обтекателями на входе и призматическими на выходе	200	10 15 20	44 52 57	45,5 53 58	45 52,5 57,5	44,5 54,5 59	40 53 59,5	33 49,5 57	24,5 41 51	19 30,5 41,5
Без обтекателей	100	10 15 20	44 53 58	44 54 59,5	47,5 54 59	48,5 58 61	46 58 63	39 55 61	29 48,5 56	24,5 39,5 48
С цилиндрическими обтекателями на входе	100	10 15 20	44 52 57	45 53 58	48 53,5 58,5	48 56,5 61	44,5 56 62	37 53 60,5	25 44,5 54,5	22 32,4 44
С цилиндрическими обтекателями на входе и призматическими на выходе	100	10 15 20	43 50 56	44 51 57	45 52,5 58,5	46 56,5 61	44 57,5 62	36,5 54 60	23 43 53,5	21 30,5 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

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 дБ*А*. 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 значения 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, дБ*А*
10	2 4 6	7 12 16
20	2 4 6	7 12 15
50	2 4 6	7 11 14
100	2 4 6	7 11 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 Требования к выбору конструктивного исполнения экранов и материала для изготовления их элементов (бетон, дерево, сталь, алюминий, пластик и др.) приведены в ГОСТ 33329, СП 276.1325800 и [3]. 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 следует крепить 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.

Требования к подбору звукопоглощающих материалов и защитных покрытий, а также параметров облицовок приведены в СП 51.13330, ГОСТ 33329, СП 276.1325800 и [3].

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; 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. Значение снижения уровня звука, обеспечиваемого экранами-зданиями, может достигать 25–30 дБ*А*.

Приложение Г

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

Для достижения высоких коэффициентов звукопоглощения акустических конструкций 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

Коэффициенты звукопоглощения строительных материалов и конструкций и акустических конструкций

Таблица Д.1 – **Коэффициенты звукопоглощения строительных материалов и конструкций**

Материалы и конструкции	Коэффициенты звукопоглощения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, 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	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	0,03	–	0,04	–	0,05	–
Проемы в тоннеле	1,0	–	0,9	–	0,9	–

Таблица Д.2 – **Коэффициенты звукопоглощения акустических конструкций**

Тип конструкции	Коэффициенты звукопоглощения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, 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 – Данные по объемным звукопоглотителям приведены в [6].

Приложение Е

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

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

Плотность расстановки пассажиров	Эквивалентное звукопоглощение пассажиров на уровне посадочной платформы станции метрополитена, м^2, при частоте, 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, %	Значения коэффициента *n*, м$^{-1}$, при частоте, 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

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 $L_{A\text{экв}R}$ вычисляют по формуле

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

где L_{AEi} – корректированный по частотной характеристике A уровень звукового воздействия шума от прохождения i-го поезда, дБA;

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 звукового воздействия $\overline{L}_{AE}$ шума от прохождения поезда, формула (Ж.1) принимает вид

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

где C – постоянная, вычисляемая по формуле

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

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

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

где T_m – общее время выполнения измерений, мин, выбираемое по 6.4.11;

n_T – число событий прохождения поезда за время измерения T_m.

Примечание – Формулы (6.3) и (6.4) в 6.5.3 и 6.5.4 следуют из подстановки формулы (Ж.4) в формулу (Ж.2) и перехода к заданию временных параметров в минутах.

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

[2] МУК 4.3.2194-07 Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях

[3] СТО Автодор 2.9-2014 Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации акустических экранов на автомобильных дорогах государственной компании «Автодор»

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

[5] Руководство по расчету и проектированию шумоглушения вентиляционных установок. – М.: Стройиздат, 1982

[6] Руководство по акустическому проектированию объемных звукопоглотителей. – М.: Стройиздат, 1984

gost.e-ecolog.ru