
**МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

СВОД ПРАВИЛ

СП ХХ.1325800.2016
(проект 1-я редакция)

**Защита от шума объектов метрополитена.
Правила проектирования, строительства и
эксплуатации**

Настоящий проект свода правил не подлежит применению до его утверждения

Москва 2016

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», а правила разработки – постановлением Правительства Российской Федерации от 1 июня 2016 г. № 624 «Об утверждении Правил разработки и утверждения, опубликования, изменения и отмены сводов правил».

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛИ – 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 Федеральным автономным учреждением «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» (ФАУ «ФЦС»)

4 УТВЕРЖДЕН приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 2016 г. № и введен в действие с

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

6 Настоящий свод правил подготовлен на основе применения СП 23-104-2004

7 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему своду правил публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Минстрой России, 2016

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

Содержание

Введение.....	
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.....	

СП XX.1325800.2017
(проект, 1-я редакция)

6.5	Обработка результатов измерений.....
6.6	Оценка шумового воздействия.....
6.7	Представление результатов.....
Приложение А (справочное)	Звукоизолирующая способность шумозащитных наружных ограждений.....
Приложение Б (справочное)	Уровни звуковой мощности шума, генерируемого в шумоглушителях.....
Приложение В (справочное)	Звукоизоляция объектов с помощью экранов.....
Приложение Г (рекомендуемое)	Общие требования к звукопоглощающим материалам и конструкциям, допускаемым к применению на станциях метрополитена.....
Приложение Д (справочное)	Частотные характеристики коэффициентов звукопоглощения некоторых материалов и конструкций...
Приложение Е (справочное)	Эквивалентное звукопоглощение пассажиров на станции. Значения коэффициента n для учета поглощения звука в воздухе при температуре 20 °С.....
Приложение Ж (обязательное)	Вычисление эквивалентного уровня звука за время оценки шумового воздействия.....
Библиография

Введение

Настоящий свод правил разработан с учетом обязательных требований, установленных в Федеральных законах от 27 декабря 2002 г. № 184–ФЗ «О техническом регулировании», от 30 декабря 2009 г. № 384–ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», а также в Постановлении Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2008 г. № 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил» и содержит требования к расчету и проектированию защиты от шума, создаваемого стационарными и движущимися объектами метрополитена в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки. В нем развиваются положения СП 51.13330.2011 применительно к объектам метрополитена.

В настоящем своде правил установлены 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, д-р техн. наук Т.О. Невенчанная, к-т техн. наук В.Н. Сухов, к-т техн. наук Х.А. Щиржецкий, 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

1 Область применения

Настоящий Свод правил распространяется на источники шума, используемые при строительстве и эксплуатации объектов метрополитенов, таких, как строительные площадки, электродепо, вестибюли станций, электропоезда и др. объекты по СП 120.13330.

Настоящий свод правил устанавливает требования, которыми следует руководствоваться при выполнении акустических расчетов по оценке степени шумового дискомфорта на жилой территории, расположенной в окрестности объектов метрополитенов, и при разработке мероприятий для обеспечения допустимых уровней шума, регламентируемых санитарными нормами [1] и СП 51.13330 (для проникающего шума).

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

Свод правил устанавливает также методы измерения и оценки шума, создаваемого в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов в мет-

СП ХХ.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

рополитенах. Измерения выполняют с целью контроля шума, создаваемого в помещениях жилых и общественных зданий при движении поездов в метрополитенах, на соответствие допустимым уровням.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы ссылки на следующие нормативные документы:

СП 51.13330.2011 СНиП 23-03–2003 Защита от шума

СП 120.13330.2012 СНиП 32-02-2003. Метрополитены

ГОСТ Р 53187-2008 Шумовой мониторинг городских территорий

ГОСТ 12.2.016.1-91 ССБТ. 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 23941-79 (СТ СЭВ 541-77) Шум. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования

ГОСТ 24146-89 Зрительные залы. Метод измерения времени реверберации

ГОСТ 24699-2002 Блоки оконные деревянные со стеклами и стеклопакетами. Технические условия

ГОСТ 25902-83 Зрительные залы. 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

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. Реверберационный метод

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

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

П р и м е ч а н и е – При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии 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 документа 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.

При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных сводов правил в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем своде правил применены термины с соответствующими определениями СП 51.13330, ГОСТ Р 53187, ГОСТ 31296.1.

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.

По характеру изменения во времени шум подразделяют на постоянные и непостоянные, в зависимости от того, изменяется ли уровень звука за время наблюдения не более или более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике «медленно» шумомера. 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 санитарными нормами [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 , дБА;

- для непостоянного шума - эквивалентные уровни звука $L_{A \text{ экв}}$, дБА, и максимальные уровни звука $L_{A \text{ макс}}$, дБА. В СП 51.13330 установлены также допустимые эквивалентные уровни звукового давления $L_{\text{экв}}$, 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 в ночной (с 23 до 7 ч) периоды суток, установленными в [1] и СП 51.13330. Для удобства пользования допустимые уровни приведены в таблице 4.1 настоящего свода правил.

СП ХХ.1325800.2016

(проект, 1-я редакция)

Т а б л и ц а 4.1 – Допустимые уровни звукового давления и уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки

№ пп	Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления $L_{доп}$, дБ, и эквивалентные уровни звукового давления $L_{экв.доп}$, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука $L_{Адоп}$ и эквивалентные уровни звука $L_{А экв.доп}$, дБА	Максимальные уровни звука $L_{Амакс.доп}$, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	Палаты больниц и санаториев, операционные больницы	с 7 до 23 ч	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
		с 23 до 7 ч	69	51	39	31	24	20	17	14	13	25	40
2	Кабинеты врачей поликлиник, амбулаторий, диспансеров, больниц, санаториев	–	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
3	Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и других учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек, зрительные залы клубов, залы судебных заседаний, культовые здания, зрительные залы клубов с обычным оборудованием	–	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55

Продолжение таблицы 4.1

№ пп	Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления L , дБ, и эквивалентные уровни звукового давления $L_{\text{экв.}}$, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука L_A и эквивалентные уровни звука $L_{A \text{ экв}}$, дБА	Максимальные уровни звука $L_{A \text{ макс}}$, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
4	Музыкальные классы	–	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
5	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальня помещения детских дошкольных учреждений и школах-интернатах	с 7 до 23 ч	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
		с 23 до 7 ч	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
6	Жилые комнаты общежитий	с 7 до 23 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
		с 23 до 7 ч	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
7	Номера гостиниц: – гостиницы, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	с 7 до 23 ч	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
		с 23 до 7 ч	69	51	39	31	24	20	17	17	17	25	40
	– гостиницы, имеющие по международной классификации три звезды	с 7 до 23 ч	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
		с 23 до 7 ч	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
– гостиницы, имеющие по международной классифи-	с 7 до 23 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60	
	с 23 до 7 ч	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50	

Продолжение таблицы 4.1

№ пп	Назначение помещений или территорий	Время су- ток	Уровни звукового давления L , дБ, и эквивалентные уровни звукового давления $L_{\text{ЭКВ.}}$, дБ, в октавных полосах со средне- геометрическими частотами, Гц									Уровни звука L_A и экви- валент- ные уровни звука $L_{A \text{ экв.}}$, дБА	Макси- маль- ные уровни звука $L_{A \text{ макс.}}$, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
	кации менее трех звезд												
8	Помещения офисов, рабо- чие помещения и кабинеты административных зданий, конструкторских, проектных и научно- исследовательских орга- низаций	–	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	65
9	Залы кафе, ресторанов, столовых	–	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
10	Фойе театров и концерт- ных залов	–	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	1)
11	Зрительные залы театров и концертных залов	–	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	1)
12	Многоцелевые залы	–	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	1)
13	Кинотеатры с оборудова- нием «Долби»	–	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
14	Торговые залы магази- нов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов,	–	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75

Продолжение таблицы 4.1

№ пп	Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления L , дБ, и эквивалентные уровни звукового давления $L_{\text{экв.}}$, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука L_A и эквивалентные уровни звука $L_{A \text{ экв.}}$, дБА	Максимальные уровни звука $L_{A \text{ макс}}$, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
	приемные пункты предприятий бытового обслуживания												
15	Спортивные залы	–	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	1)
16	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев	с 7 до 23 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
		с 23 до 7 ч	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
17	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек	с 7 до 23 ч	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
		с 23 до 7 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

СП ХХ.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

Окончание таблицы 4.1

№ пп	Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления L , дБ, и эквивалентные уровни звукового давления $L_{\text{экв.}}$, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука L_A и эквивалентные уровни звука $L_{A \text{ экв.}}$, дБА	Максимальные уровни звука $L_{A \text{ макс.}}$, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
18	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	с 7 до 23 ч	93	70	70	63	59	55	53	51	49	60	75
		с 23 до 7 ч	86	71	61	54	49	45	42	40	39	50	65
19	Площадки отдыха на территории больниц и санаториев	–	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
20	Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и др. учебных заведений	–	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
<p>П р и м е ч а н и я</p> <p>1 Максимальные уровни звука в данных помещениях не нормируются.</p> <p>2 Допустимые уровни шума в помещениях, приведенных в позициях 1 – 7, установлены при условии обеспечения нормативного воздухообмена помещений при открытых форточках, фрамугах, узких створках окон, обеспечивающих приток воздуха.</p>													

Продолжение п р и м е ч а н и й к таблице 3.1

При наличии систем принудительной вентиляции или кондиционирования воздуха, обеспечивающих нормативный воздухообмен, допустимые уровни внешнего шума около зданий могут быть увеличены из расчета обеспечения допустимых уровней шума в помещениях при закрытых окнах.

3 Эквивалентные и максимальные уровни звука в дБА для шума, создаваемого на территории средствами автомобильного и рельсового транспорта, в 2 м от ограждающих конструкций первого эшелона жилых зданий, зданий гостиниц, общежитий с установленным шумозащитным остеклением и обеспечением требуемого воздухообмена, обращенных в сторону магистральных улиц общегородского и районного значения, железных дорог, допускается принимать на 10 дБА выше, указанных в позициях 17 и 18 таблицы.

4 Допустимые уровни шума, создаваемого в помещениях и на территориях, прилегающих к зданиям, системами вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления следует принимать на 5 дБ (дБА) ниже указанных в таблице значений.

4.1.4. Работы по снижению шума осуществляются по следующим основным направлениям:

- в источниках шума конструктивными методами (создание и применение малозумных 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 главным образом средства снижения шума на пути его распространения.

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

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

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

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

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

N - число одновременно работающих источников шума;

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

$L_{\text{доп } i}$ - допустимый уровень звукового давления на защищаемом объекте в i -й октавной полосе, дБ, (принимается по таблице 4.1).

Оценку соответствия шумового режима нормативным требованиям допускается выполнять по формуле

$$\Delta L_{\text{Асум.тр}} = L_{\text{Асум}} - L_{\text{Адоп}}, \quad (4.3)$$

где $L_{\text{Асум}}$ - суммарный уровень звука от источников шума в расчетной точке, дБА

$L_{\text{Адоп}}$ - допустимый уровень звука на защищаемом объекте, дБА, принимаемый по таблице 4.1.

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

$$L_{A_{сум}} = 10 \lg \sum_{i=1}^9 10^{0,1(L_{сумi} + A_i)}, \quad (4.4)$$

где A_i – значение частотной характеристики A шумомера на среднегеометрической частоте ($f_{сг}$) i -ой октавной полосы, дБ, принимаемое согласно ГОСТ 17187 по таблице 4.2.

Т а б л и ц а 4.2 – Частотная характеристика A шумомера

$f_{сг}$, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A_i , дБ	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1

Примечание - Отрицательное значение величин $\Delta L_{сум тр}$ 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.

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

$$\Delta L_{A_{эkv.сум.тр}} = L_{A_{эkv.сум}} - L_{A_{эkv.доп}}, \quad (4.5)$$

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

где $L_{A_{эkv.сум}}$ - общий уровень звука в расчётной точке, определяемый как энергетическая сумма суммарного уровня звука $L_{A_{сум}}$ от источников постоянного шума, определённого по формулам (4.2), (4.4), и суммарного эквивалентного уровня звука $L_{A_{эkv.сум}}$ от источников непостоянного шума, дБА

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

При этом вначале определяется суммарный уровень по формуле (4.2), а затем выполняется коррекция A 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 $L_{A_{\text{экв}j}}$ - эквивалентный уровень звука от j -го источника непостоянного шума, дБА;
 N' - число источников непостоянного шума, работающих в течение времени оценки τ шумового воздействия (16 ч днем, 8 ч ночью).

Эквивалентный уровень звука $L_{A_{\text{экв}j}}$ j -го источника шума определяют как среднее по интенсивности его значение за время оценки τ , т.е.

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

где m - число интервалов с различными значениями уровня звука на интервале времени оценки τ ,

τ_k - длительность интервала с уровнем звука L_{Aj}^k , ч.

4.1.8. Если суммарный шум в расчетной точке превышает допустимый уровень ($\Delta L_{\text{сум.тпi}} > 0$ или $\Delta L_{A_{\text{сум.тп}}} > 0$; $\Delta L_{A_{\text{экв.сум.тп}}} > 0$ или $\Delta L_{A_{\text{макс}}} > 0$), 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 $\Delta L_{\text{тпi}}$ 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 первой подгруппы вычисляют ΔL_{mpi} по формуле

$$\Delta L_{mpi} = L_i - L_{\text{дон}} + 10 \lg n_1, \quad (4.10)$$

где ΔL_{mpi} - требуемое снижение шума, создаваемое в расчётной точке i -м источником, дБ;

L_i - уровень звукового давления в дБ, создаваемый в расчётной точке i -м источником;

$L_{\text{дон}}$ - допустимый уровень звука на защищаемом объекте, дБ;

n_1 - число источников шума в определенной выше подгруппе.

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

$$\Delta L_{mp i} = L_i - L_{\text{дон}} + 10 \lg (n - n_i) + 5, \quad (4.11)$$

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 величину ΔL_0 , которая определяется по формуле

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

де m_n - число источников шума, уровни звукового давления которых, по крайней мере, на 10 дБ меньше $L_{\text{дон}}$.

Примечание – Оценочные расчеты показывают, что в некоторых случаях для источников, создающих в расчетной точке более низкие уровни звукового давления, получаются большие значения требуемого снижения шума. Это связано с принятой схемой разбиения источников на две группы. Для исключения завышенных требований целесообразно рассчитать суммарный уровень звукового давления в расчетной точке с учетом найденных значений требуемого снижения шума отдельных источников и откорректировать полученные данные.

4.1.9. Необходимые акустические расчеты и предложения по обеспечению допустимых уровней шума рекомендуется включать в состав проектной документации на всех основных стадиях проектирования 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 этажа; для территорий не менее чем в 2 м от стен окружающих зданий и сооружений на высоте 1,5 м от поверхности земли; для помещений в 2 м от окна на высоте 1,5 м от поверхности пола.

4.2.2 При выборе расчётных 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 расчётных точек будет включать:

- а) точку, привязанную к защищаемому от шума объекту, ближайшему к границе территории объекта метрополитена;
- б) точки, привязанные к защищаемым от шума объектам, ближайшим к наиболее интенсивным, не экранируемым источникам шума;
- в) точки, привязанные к ближайшим к объекту метрополитена, защищаемым от шума объектам, к которым предъявляются более жёсткие требования на допустимый уровень шума, чем выбранные в соответствии с рекомендациями а), б).

4.3 Расчет ожидаемых уровней шума 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;

СП XX.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

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 нормальными к наружным ограждениям, за которыми находится это оборудование (нормальными 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.

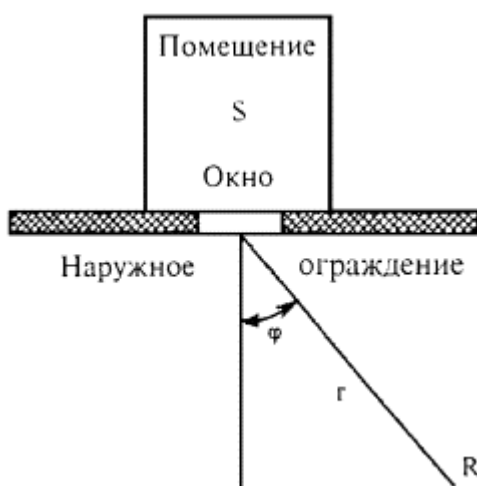


Рисунок 4.1 - Схема для определения угла φ между нормалью к наружному ограждению и направлением в расчетную точку
 S - источник шума; R - расчетная точка

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 $L_{W_{\text{эке}}}$ 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 не-

которых 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) или по опубликованным данным, 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 31353.2-2007 для вентиляционного оборудования, ГОСТ 28975 для землеройных машин).

Для действующих стационарных объектов метрополитена в качестве исходных данных можно 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 могут быть определены расчётом. Для выполнения расчета необходимы следующие исходные данные: номер вентилятора, его к.п.д., частота вращения рабочего колеса и его диаметр в процентах от номинального, расход воздуха и напор его потока; для крышных вентиляторов - окружная скорость и диаметр рабочего колеса.

Для определения уровней звуковой мощности шума, излучаемого из заборных и выбросных отверстий приточных и вытяжных систем вентиляции, необходимы также сведения о путевой арматуре и элементах воздухопроводов: общая длина воздухопровода от вентилятора до заборного или выбросного отверстия, размеры его поперечного сечения, количество и характер поворотов и разветвлений воздухопроводов, наличие фасонных элементов (отводы, тройники, крестовины), шиберов, дроссель-клапанов, глушителей шума, тип распределительных устройств (нерегулируемые и регулируемые решетки, плафоны, анемографы, устройства на основе конических сопел).

Расчет шумовых характеристик вентиляторов и уровней звуковой мощности шума, излучаемого из заборных и выбросных отверстий систем вентиляции, следует выполнять по правилам, установленным сводом правил [2].

4.3.2 Этапы расчета

4.3.2.1 Акустический расчёт состоит из следующих основных этапов:

а) выявление источников шума и предварительное ранжирование их по уров-

ню излучаемой звуковой мощности;

б) выбор расчётных точек;

г) определение уровней шума в расчётных точках;

д) определение требуемого снижения уровней шума в расчётных точках.

После выполнения акустического расчета выбирают конкретные мероприятия для обеспечения требуемого снижения уровней шума в расчетных точках. Производят 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 расчётной точке на территории застройки рассчитывают в соответствии с методом, установленным ГОСТ 31295.2.

4.3.3.2 При источнике шума, расположенном открыто, расчет выполняют по формуле

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

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

Φ_i - фактор направленности источника шума в i -ой октавной полосе частот (для ненаправленных источников $\Phi_i = 1$);

ΔL_i - изменение уровня звукового давления, дБ, в i -ой 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.

В общем случае ΔL_i учитывает различные факторы, влияющие на интенсивность звука при распространении от источника до расчетной точки, и является суммой ряда слагаемых:

$$\Delta L_i = \Delta L_{расi} + \Delta L_{атмi} + \Delta L_{гpi} + \Delta L_{экрi} + \Delta L_{донi} \quad (4.14)$$

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

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

$\Delta L_{зр}$ - изменение уровня звукового давления, вызываемое влиянием грунта, дБ;

$\Delta L_{экр}$ - снижение уровня звукового давления экранами, дБ;

$\Delta L_{доп}$ - изменение уровня звукового давления за счет дополнительных факторов, дБ, которые могут включать: $\Delta L_{зел}$ – снижение уровня звукового давления полосами зеленых насаждений, $\Delta L_{отр}$ - влияние отражения звука от препятствий и ΔL_{α_i} - снижение уровня звукового давления вследствие ограничения угла видимости объекта из расчетной точки.

Значения слагаемых $\Delta L_{рас}$, $\Delta L_{атм}$, $\Delta L_{зр}$, $\Delta L_{экр}$, $\Delta L_{зел}$, следует рассчитывать по ГОСТ 31295.2 (аналогично слагаемым A_{div} , $A_{атм}$, $A_{гр}$, $A_{бар}$, A_{fol}), $\Delta L_{отр}$ и ΔL_{α_i} - по 4.3.3.3, 4.3.3.4.

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 метров 2 м от расчетной точки, $\Delta L_{отр}$ 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 $\Delta L_{отр} = 3$ дБ (дБА).

4.3.3.4 Снижение вследствие ограничения угла видимости объекта из расчетной точки

Снижение уровня звукового давления ΔL_α , дБ вследствие ограничения угла видимости объекта из расчетной точки следует определять для протяженных объектов по формуле

$$\Delta L_\alpha = 10 \lg \frac{180}{\alpha}, \quad (4.25)$$

где α - угол видимости незранированного участка улицы или дороги из расчетной точки, град., (определяют по рисунку 4.2).

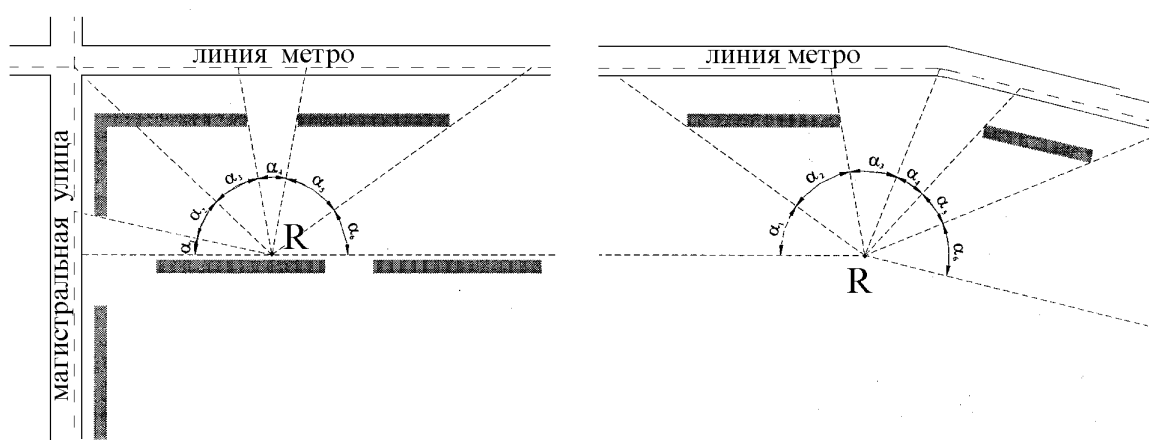


Рисунок 4.2. Примеры разбивки территории в окрестности линии метро на участки, отличающиеся по условиям распространения шума

4.3.3.5 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 $L_{Wnp.i}$ шума, прошедшего через наружные ограждения помещения с источниками шума (определяется по 4.3.4.3).

Вычисление значения $10 \lg \Phi_i$ - зависимости от угла φ между нормалью к наружному ограждению помещения с источниками шума и направлением в расчетную точку (см. рисунок 4,1) необходимо производить с помощью таблицы 4.3.

Снижения уровня звукового давления $\Delta L_{рас}$, $\Delta L_{ат.м}$, $\Delta L_{зр}$, $\Delta L_{экр}$ и $\Delta L_{дон}$ на пути распространения звука от наружных поверхностей помещения определяют как указано в 4.3.3.2. При этом расстояния отсчитывают от наружных поверхностей по-

мещений, а высота источника шума h_S берется на уровне середины элемента ограждения помещения с наименьшей звукоизоляцией (окна, открытой форточки, фрамуги или створки окна).

Т а б л и ц а 4.3 – Зависимость фактора направленности от угла φ

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

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

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

$$L_i = L_{Wi} - \Delta L_{Wi \text{ cemu}} + \Delta L_n - \Delta L_i \quad (4.15)$$

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

$\Delta L_{Wi \text{ cemu}}$ - суммарное снижение уровня звуковой мощности по пути распространения звука в воздуховоде в i -ой октавной полосе, дБ, определяемое по 4.3.4.4;

ΔL_n - показатель направленности излучения звука, дБ, определяемый по рисунку 4.3;

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).

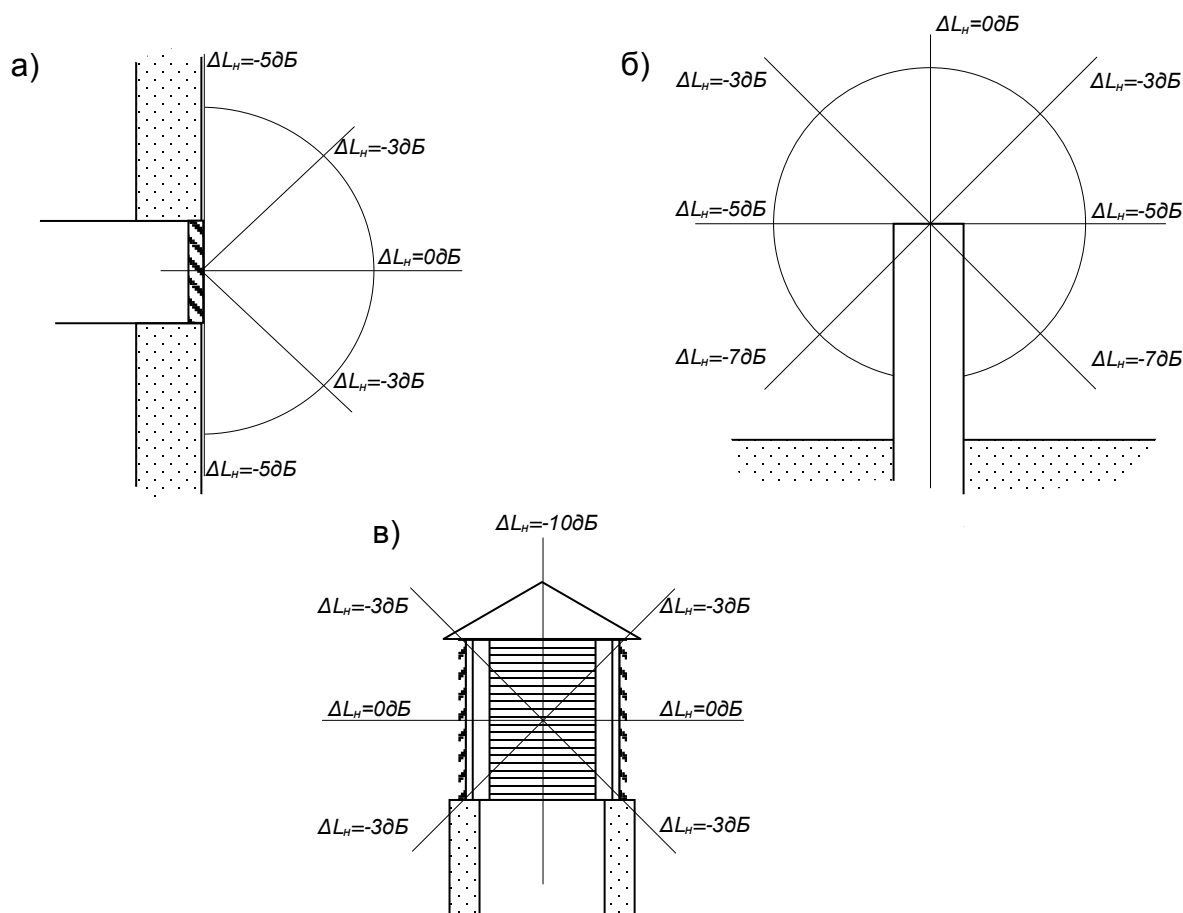
4.3.3.5 При необходимости, уровни звукового давления в защищаемом от шума помещении определяют по формуле:

$$L_{\text{пи}} = L_i - R_i \quad (4.16)$$

где L_i - уровень звукового давления, дБ, в i -ой 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) путём под-

становки в неё значений параметров, соответствующих рассматриваемому ограждению.



- 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 4.3 - Показатель направленности излучения шума через отверстия вентиляционных решеток, воздуховодов, шахт и подобных элементов

4.3.4 Шумовые характеристики источников шума

4.3.4.1 Значения уровней звуковой мощности L_W (для источников постоянного шума), эквивалентных $L_{W_{\text{ЭКВ}}}$ и максимальных $L_{W_{\text{МАКС}}}$ уровней звуковой мощности (для источников непостоянного шума), а также показателя направленности Φ 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 Φ в документации принимают $\Phi=1$.

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

4.3.4.2 Уровень звуковой мощности $L_{Wnp\ i}$ шума, прошедшего через наружные ограждения помещения, рассчитывают по формуле

$$L_{Wnp\ i} = L_{\text{вн}\ i} + 10 \lg \frac{S_{\text{оз}}}{S_0} - R_i, \quad (4.17)$$

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

$S_{\text{оз}}$ - площадь наружного ограждения, м²;

$S_0 = 1 \text{ м}^2$;

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

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

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

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

n - число источников шума в помещении;

B_i - постоянная помещения в i -ой октавной полосе, м²

$B_0 = 1 \text{ м}^2$.

Значение постоянной помещения B_i определяют по формуле

$$B_i = B_{1000} \mu_i, \quad (4.19)$$

где B_{1000} - постоянная помещения в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц, м², определяемая по таблице 4.4 в зависимости от объема V , м³, и типа помещения;

μ_i - частотный множитель, определяемый по таблице 4.5.

СП ХХ.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

Примечание – Если длина помещения более чем в 5 раз превышает его ширину или высоту, постоянную помещения B_{1000} рекомендуется определять по таблице 4.4 в зависимости от величины воображаемого объема V , определяемого по формуле

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

где h - меньший размер помещения, м;

b - второй по величине размер помещения, м.

Т а б л и ц а 4.4 - Постоянная помещения B_{1000}

Тип помеще- ния	Описание	B_{1000}
1	Металлообрабатывающие мастерские, вентиляционные ка- меры, 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 4.5 - Частотный множитель μ_i

Объем помеще- ния $V, \text{ м}^3$	Частотный множитель μ_i для среднегеометрических частот октав- ных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Меньше 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
Больше 1000	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

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

$$R_i = -10 \lg \left(\frac{S_{OK} \times 10^{-0,1R_{OKi}} + S_{\phi} + S_{дв} \times 10^{-0,1R_{дв}} + S_{ст} \times 10^{-0,1R_{сти}}}{S_1} \right), \quad (4.21)$$

где S_{OK} , R_{OKi} - площадь, м^2 , и звукоизолирующая способность, дБ, окон в i -й октавной полосе;

$S_{дв}$, $R_{двi}$ - то же дверей;

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

S_{ϕ} - площадь открытой части форточки (фрамуги);

$S_1 = 1 \text{ м}^2$.

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 учёта члена $S_{cm} \times 10^{-0,1R_{cm}}$.

Звукоизоляцию окна с открытой форточкой или фрамугой принимают равной 10 дБ.

Допускается выполнение расчета $L_{внi}$ в соответствии с правилами установленными сводом правил [3].

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

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 правилами, установленными в своде правил [2]. В соответствии с этим сводом правил 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, излучаемой в окружающее пространство через стенки корпуса вентилятора, рассчитывают 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 по таблице 4.6;

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

Q - объемный расход воздуха вентилятора, м³/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 по таблице 4.7;

СП ХХ.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

$\Delta L_{реж}$ - поправка на режим работы вентилятора, дБ, в зависимости от КПД вентилятора, определяемая по таблице 4.8.

$$P_0 = 10 \text{ Па}; Q_0 = 1 \text{ м}^3/\text{с}$$

Т а б л и ц а 4.6 - Критерии шумности $L_{к.ш}$ радиальных и осевых вентиляторов по [2]

Вентилятор		Критерий шумности $L_{к.ш}$, дБ, для сторон		
Тип	Номер	нагнетания	всасывания	корпуса
Радиальные (центробежные)				
ВЦ-4-70	2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16	50	47	49
ВЦ-4-76	8; 10; 12,5; 16; 20	47	44	46
ВЦ-14-46	2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8	51	8	50
ВВД	5; 6,3; 8; 9; 11,2	57	49	53
ВЦ-10-28	2; 2,5; 2,8; 3,15; 4; 5	55	50	53
ЦП-7-40	5; 6,3; 8	55	50	53
Осевые				
ВО-06-300	3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5	49	49	49

Т а б л и ц а 4.7 – Поправка ΔL_{1i} , учитывающая распределение уровня звуковой мощности по октавным полосам частот по [2]

Тип и номер вентилятора	Частота вращения вентилятора, об/мин	Поправка ΔL_1 , дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Радиальные (центробежные)									
ВР-80-70, ВЦ-4-70 № 2,5; 3,2; 4	930-1120	6	5	7	13	14	20	25	31
	1370-1700	6	5	5	10	14	17	22	27
	2800-3360	7	7	6	6	11	15	18	23
ВР-80-70, ВЦ-4-70, ВР-86-77,	350-450	4	6	9	12	16	23	30	38
	460-600	5	5	8	11	15	20	27	34
	635-800	5	4	7	10	15	18	24	30
ВЦ-4-76 № 5; 6,3; 8; 10; 10; 12,5	850-1000	6	5	5	9	11	16	22	28
	1015-1290	6	5	4	8	11	15	19	27
	1300-1620	7	6	5	8	11	15	19	25
ВР-300-45, ВЦ-14-46 № 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8	720	8	6	5	6	14	18	22	27
	915-985	9	7	6	5	13	17	21	25
	1360-1455	10	8	6	5	7	14	18	23
	2815-2900	12	10	8	6	5	7	14	18

Продолжение таблицы 4.7

ВР-100-45, ЦП-7-40 № 5; 6,3; 8	600-700	4	6	9	13	17	21	26	31
	800-1400	6	6	6	9	13	17	21	26
	1410-2600	9	6	6	6	9	13	17	21
ВР-132-30, ВВД № 5; 6,3; 8; 9; 11 ВЦ-10-28	600-700	4	6	9	13	17	21	26	31
	800-1400	6	6	6	9	13	17	21	26
	1410-1900	9	6	6	6	9	13	17	21
	2810-3000	12	4	11	8	9	10	14	18
Осевые									
ВО-14-320 №4; 6,3 ВО-18-270-1,6 ВС-10-400 №4÷6,3 ВО-06-300 №4÷6,3	700-1400	13	8	8	5	7	9	15	23
	1410-2800	18	13	8	8	5	7	9	15
	2810-3000	23	18	13	8	8	5	7	9

Т а б л и ц а 4.8 - Поправка $\Delta L_{реж}$ на режим работы вентилятора

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

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

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

где \bar{L} - отвлеченный уровень, дБ, определяемый в зависимости от типа и конструкции вентилятора по таблице 4.9;

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 4.10;

$$u_0 = 1 \text{ м/с}; D_0 = 1 \text{ м}.$$

Т а б л и ц а 4.9 - Отвлеченный уровень \bar{L}

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

Т а б л и ц а 4.10 - Поправка ΔL_{1i} , учитывающая распределение уровня звуковой мощности по октавным полосам частот

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

4.3.4.4 В соответствии со сводом правил [2] 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, L_{Wicemu} по пути распространения звука в воздуховоде в i -ой октавной полосе определяют по формуле

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

где $\Delta L_{Wi}^{(k)}$ - снижение уровней звуковой мощности вентилятора в k -ом элементе воздуховода в i -ой 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: пря-

мые участки воздуховода, повороты, изменение поперечного сечения воздуховода, разветвление сети, отражение от открытого конца воздуховода. Расчет снижения уровней звуковой мощности $\Delta L_{Wi}^{(k)}$ от указанных элементов сети воздуховода, а также в элементах вентиляционных установок (в фильтрах, секциях увлажнения, подогрева или охлаждения) следует выполнять в соответствии с правилами, установленными в своде правил [2].

4.4 Расчет ожидаемых уровней звука от движущихся объектов

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

Расчет ожидаемых уровней шума в расчетных точках от движущихся объектов выполняют по формуле (4.13), подставляя в нее вместо уровней звуковой мощности L_{Wi} соответствующие шумовые характеристики движущихся источников по 4.4.2. По рассчитанным эквивалентным и максимальным уровням звукового давления в октавных полосах частот по формуле (4.4) вычисляют соответствующие уровни звука, которые используют для оценки шума на соответствие допустимым уровням согласно 4.1.7. При установлении факта превышения допустимых уровней звука для каждого из рассматриваемых источников шума определяют требуемое снижение шума по 4.1.8.

Допускается выполнять расчет по формуле (4.13) непосредственно в уровнях звука, используя значения слагаемых, входящих в величину ΔL для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц. При необходимости определения требуемого снижения шума в октавных полосах частот, следует вычислять соответствующие уровни звукового давления непосредственно в расчетных точках, используя относительные спектры для видов транспорта по своду правил [4] и для поездов метро по 4.4.8.

4.4.2 В соответствии с ГОСТ 20444 шумовыми характеристиками потоков транспорта являются эквивалентный $L_{Aэкв}$ и максимальный L_{Amax} уровни звука в дБА, определяемые на опорном расстоянии R_0 от оси пути или полосы движения до-

роги, наиболее близких к расчетной точке, и на высоте 1,5 м. от головки рельса (для рельсового транспорта, включая трамваи) или от уровня проезжей части (для автомобильного транспорта, включая троллейбусы). Для рельсового транспорта (железнодорожных поездов и поездов метро) принимают $R_0 = 25$ м, и высоту отсчитывают от уровня головки рельса, для автомобильного 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 своду правил [4] 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 сводом правил [4].

4.4.4 Шумовые характеристики поезда метро в виде эквивалентного $L_{A_{Экв\ 25}}^k$ и максимального $L_{A_{Макс\ 25}}^k$ уровней звука, дБА, создаваемых поездом с вагонами k -го типа за время τ_k , с, его прохода мимо опорной точки следует рассчитывать по формулам:

- для традиционного метро

$$L_{A_{Экв\ 25}}^k = 34,9 \lg \left(\frac{v_k}{v_0} \right) + 10 \lg \left(\arctg \left(\frac{l_k}{25} \right) - \frac{12,5}{l_k} \ln \left[1 + \left(\frac{l_k}{25} \right)^2 \right] \right) + 17,5, \quad (4.26)$$

$$L_{A_{Макс\ 25}}^k = 35 \lg \left(\frac{v_k}{v_0} \right) + 10 \lg \left(\arctg \left(\frac{l_k}{50} \right) \right) + 13,7, \quad (4.27)$$

- для легкого метро

$$L_{A_{Экв\ 25}}^k = 22,7 \lg \left(\frac{v_k}{v_0} \right) + 10 \lg \left(\arctg \left(\frac{l_k}{25} \right) - \frac{12,5}{l_k} \ln \left[1 + \left(\frac{l_k}{25} \right)^2 \right] \right) + 45, \quad (4.28)$$

$$L_{Амакс\ 25}^k = 25,6 \lg \left(\frac{v_k}{v_0} \right) + 10 \lg \left(\arctg \left(\frac{l_k}{50} \right) \right) + 51, \quad (4.29)$$

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 (4.26) получена аналогично соответствующей формуле (3.60) свода правил [5] посредством перехода от модели бесконечного линейного источника к модели источника конечной длины, равной длине поезда метро.

2 Формулы (4.28), (4.29) получены применением процедуры линейной регрессии к результатам измерений эквивалентных уровней опытного образца легкого метро, выполненных сотрудниками НИИСФ РААСН и ДГУП "Инновационно-технологический центр" ПО "Авиапромналадка" в 2002 г. на Экспериментальном кольце ГУП ВНИИЖТ в г. Щербинке.

3 Для поездов с вагонами типа 81-717/714 и их разновидностей, эксплуатируемых на большинстве линий Московского метрополитена и имеющих длину 160 м слагаемые $10 \lg \left(\arctg(l_k/25) - (12,5/l_k) \ln \left[1 + (l_k/25)^2 \right] \right) = 0,5$ дБ и $10 \lg(\arctg(l_k/50)) = 1$ дБ, и формулы (4.26), (4.27) принимают простой вид:

$$L_{Аэкв\ 25}^k = 34,9 \lg \left(\frac{v_k}{v_0} \right) + 18. \quad (4.30)$$

$$L_{Амакс\ 25}^k = 35 \lg \left(\frac{v_k}{v_0} \right) + 14,7. \quad (4.31)$$

4 Для поездов с вагонами типа 81-740/741 «Русич» и их разновидностей, эксплуатируемых на Бутовской линии легкого метро Московского метрополитена и имеющих длину 84 м слагаемые $10 \lg \left(\arctg(l_k/25) - (12,5/l_k) \ln \left[1 + (l_k/25)^2 \right] \right) = 0,7$ дБ и $10 \lg(\arctg(l_k/50)) = 0,1$ дБ, и формулы (4.28.), (4.29) принимают простой вид:

$$L_{Аэкв\ 25}^k = 34,9 \lg \left(\frac{v_k}{v_0} \right) + 45,7. \quad (4.32)$$

$$L_{Амакс\ 25}^k = 34,9 \lg \left(\frac{v_k}{v_0} \right) + 51,1. \quad (4.33)$$

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 ΔL_m , зависящую от типа моста (эстакады) и определяемую по таблице 4.11.

Т а б л и ц а 4.11 - Коррекция ΔL_m на тип моста (эстакады)

Тип моста	Коррекция, дБА
Стальной мост	10
Стальной мост с балластным слоем	5
Стальной мост с балластным слоем и подбалластным матом	3
Армированный бетонный мост с балластным слоем и подбалластным матом	0
Армированный бетонный мост с бетонными опорами	0

4.4.5 Шумовую характеристику в виде часового эквивалентного уровня звука $L_{Аэ\kappa\text{в}25,1\text{ч},l}^k$ потока поездов метро с вагонами k -го типа, проходящих по рассматриваемому открытому участку пути в течение l -го часа, следует рассчитывать по формуле

$$L_{Аэ\kappa\text{в}25,1\text{ч},l}^k = 10 \lg \frac{1}{3600} \sum_{j=1}^{n_l^k} t_{jl} 10^{0,1 L_{Аэ\kappa\text{в}25,jl}^k}, \quad (4.34)$$

где $L_{Аэ\kappa\text{в},jl}^k$ – эквивалентный уровень звука, дБА, 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 (4.26) и (4.28);

n_l^k – 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 $L_{Ае\text{q}25,1\text{ч},l}$, 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, определяют по формуле

$$L_{A_{\text{экв}}25,1ч,l} = 10 \lg \sum_{k=1}^n 10^{0,1L^k_{A_{\text{экв}}25,1ч,l}}, \quad (4.35)$$

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

$$L_{A_{\text{экв}}25,R} = 10 \lg \frac{1}{T_R} \sum_{l=1}^{n_R} t_l 10^{0,1L_{A_{\text{экв}}25,1ч,l}}, \quad (4.36)$$

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;

$$t_l = 1 \text{ ч.}$$

П р и м е ч а н и е – 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 средним арифметическим максимальных уровней 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 Для получения расчетных эквивалентных и максимальных уровней звукового давления в октавных полосах частот $L_{\text{окт.}}$, дБ, поездов и потока поездов метро к эквивалентным уровням звука $L_{A_{\text{экв.}}}$, определенным по формулам (4.26) - (4.29), (4.34) - (4.36) и по 4.4.7, следует добавить значения относительного спектра $\Delta_{\text{отн.}}$, приведенные в таблице 4.12:

$$L_{\text{окт.}25} = L_{A25} - \Delta_{\text{отн.}} \quad (4.37)$$

Т а б л и ц а 4.12 – Относительные спектры шума потоков метропоездов

Относительная частотная характеристика шума потоков метропоездов $\Delta L_{отн.}$, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-14,3	-14,7	-17,5	-4,2	-3,5	-6,2	-12,4	-23,4
П р и м е ч а н и е – Согласно [6] оценка уровня звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 31,5 Гц не проводится.							

4.4.9 Эквивалентный уровень звука и звукового давления в расчетной точке рассчитывают по формуле

$$L_{эkv} = L_{эkv25} - \Delta L_{рас} - \Delta L_{атм} - \Delta L_{зр} - \Delta L_{экр} - \Delta L_{зел} - \Delta L_{отр} - \Delta L_{\alpha_i}, \quad (4.38)$$

где $L_{эkv25}$ – шумовая характеристика отдельных поездов, определяемая по 4.4.4 и 4.4.8, или потоков поездов, определяемая по 4.4.5, 4.4.6 и 4.4.8, для часового и оценочного интервалов времени, дБ (дБА);

$\Delta L_{рас}$, $\Delta L_{атм}$, $\Delta L_{зр}$, $\Delta L_{экр}$, $\Delta L_{зел}$, $\Delta L_{отр}$, $\Delta L_{отр}$ и ΔL_{α_i} - те же величины, что в формуле (4.14).

4.4.10 Максимальный уровень звука в расчетной точке рассчитывают по формуле

$$L_{макс} = L_{макс25} - \Delta L_{рас} - \Delta L_{атм} - \Delta L_{экр} - \Delta L_{зел}, \quad (4.39)$$

где $L_{макс25}$ – шумовая характеристика отдельных поездов, определяемая по 4.4.4 и 4.4.8, или потоков поездов, определяемая по 4.4.7 и 4.4.8, дБ (дБА); остальные величины соответствуют обозначениям в формуле (4.38).

4.4.11 Значения слагаемого $\Delta L_{рас}$ следует рассчитывать по 4.4.12, $\Delta L_{экр}$ - по ГОСТ 33325 (аналогично слагаемому $A_{экр}$), слагаемых $\Delta L_{атм}$, $\Delta L_{зр}$, $\Delta L_{зел}$ - по ГОСТ 31295.2 (аналогично слагаемым $A_{атм}$, $A_{гр}$, A_{fol}), $\Delta L_{отр}$ и ΔL_{α_i} - по 4.3.3.3-4.3.3.4.

Примечание – При расчете значений уровней звука без использования перехода к октавному спектру принимаются значения частотно зависимых слагаемых для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц.

4.4.12 Снижение уровней шума в зависимости от расстояния рассчитывают по формулам:

для эквивалентных уровней звука и звукового давления

$$\Delta L_{pac} = 10 \lg \left(\frac{\arctg\left(\frac{\bar{l}}{25}\right) - \left(\frac{12,5}{\bar{l}}\right) \ln \left(1 + \left(\frac{\bar{l}}{25}\right)^2\right)}{\arctg\left(\frac{\bar{l}}{R}\right) - \frac{R}{2\bar{l}} \ln \left(1 + \left(\frac{\bar{l}}{R}\right)^2\right)} \right) - 10 \lg\left(\frac{25}{R}\right), \quad (4.40)$$

для максимальных уровней звука

$$\Delta L_{pac} = 10 \lg \left(\frac{\arctg\left(\frac{\bar{l}}{50}\right)}{\arctg\left(\frac{\bar{l}}{2R}\right)} \right) - 10 \lg\left(\frac{25}{R}\right), \quad (4.41)$$

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.

4.5 Порядок подбора мероприятий по обеспечению требуемого снижения шума

4.5.1 После определения величин 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 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, по возможности, ориентировать в сторону, противоположную направлениям на расчетные точки.

4.5.3 После выполнения архитектурно-планировочных мероприятий согласно 4.5.1, 4.5.2 необходимо произвести перерасчет ожидаемых уровней шума и требуе-

мого снижения уровней шума источников, к которым были применены вышеуказанные мероприятия.

4.5.4 Подбор строительно-акустических мероприятий после выполнения архитектурно-планировочных мероприятий 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 сводом правил [2] 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 рекомендациями, изложенными в 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 (см. 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 звукопоглощающего материала (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 рекомендациями приложения В свода правил [2].

Необходимую длину трубчатых и пластинчатых глушителей следует подбирать таким образом, чтобы величины акустической эффективности глушителя в ок-

тавных полосах частот были не меньше 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 определяют из соотношения

$$F_{св} = \frac{Q}{v_{дон}} \quad , \quad (4.42)$$

где Q - объемный расход воздуха через глушитель, м³/с;

$v_{дон}$ - допустимая скорость воздуха в глушителе, м/с.

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

$$L_{W дон i} = L_{W вх i} - \Delta L_{мп i} \quad , \quad (4.43)$$

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

$\Delta L_{мп i}$ - требуемое снижение уровня звуковой мощности, дБ, определяемое согласно 4.1.9.

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

$$L_{W вх i} = L_{W i} - \Delta L_{W i сему} \quad (4.44)$$

где $L_{W i}$ - уровень звуковой мощности вентилятора в i -ой октавной полосе, дБ;

$\Delta L_{W i сему}$ - снижение уровня звуковой мощности по пути распространения звука в воздуховоде от вентилятора до глушителя в i -ой октавной полосе, дБ, определяемые согласно 4.3.4.4.

Экспериментальные данные о собственном шумообразовании в пластинчатых

СП XX.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

глушителях сечением $F=0,5 \times 0,8 = 0,4 \text{ м}^2$ 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:

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

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 $v_{дон}$ 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 правилами, установленными сводом правил [3].

Толщину стенок кожуха подбирают исходя из частотной характеристики требуемой изоляции воздушного шума, которую, в случае выполнения стенок кожуха с внутренним покрытием из звукопоглощающего материала, определяют по формуле

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

где $\Delta L_{\text{мр } i}$ - требуемое снижение уровня звукового давления в i -ой октавной полосе частот, дБ, определяемое согласно 4.1.9;

ΔR_i - поправка, дБ, вычисляемая по формулам:

а) для кожухов со звукопоглощающей облицовкой

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

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

б) для необлицованных кожухов

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

где $S_{ист}$ - площадь воображаемой поверхности правильной формы (полусфера, параллелепипед и т.д.), вплотную окружающей источник, м²;

S_K - площадь поверхности кожуха, м².

Примечание - При $\alpha_{облi} < 0,4$ 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 $R_{кmp i}$ во всем нормируемом диапазоне частот. Частотные характеристики изоляции воздушного шума некоторыми конструкциями представлены в приложении Б.

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 $R_{кmp i}$ 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 и своде правил [4]. Отдельные положения изложены в справочном 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 ΔL_{mp} в выражениях (4.1), (4.3), (4.5), (4.6) хотя бы для одной из расчетных точек необходимо

выявить обуславливающие 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 представляет методику акустического планирования 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, позволит обеспечить во всех типах, используемых в метрополитене для приема и эвакуации людей помещений, при разных условиях эксплуатации, нормативные уровни шумового фона в соответствии с санитарными нормам 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, согласно настоящему своду правил, следует производить измерения уровней шумового фона, согласно ГОСТ 23941, измерение времени реверберации, согласно ГОСТ 24146 и измерения разборчивости речевой информации, согласно ГОСТ 25902.

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% и более степени заполнения, в зависимости от объема (согласно рисунку 5.1), с допустимым подъемом на низких частотах (125-250 Гц) не более на 20%;

- отношение полезного сигнала (информационной речи) к шуму на всей площади приема должно быть при минимальном уровне динамического диапазона речи не менее 15 дБ;

- частотная характеристика звукопередачи должна быть ровной в диапазоне частот 100-5000 Гц во всех зонах исследуемого помещения, с допустимой неравномерностью ± 3 дБ;
- такая же неравномерность допускается при работе системы звукофикации при оценке общего уровня поля в отдельных зонах помещений станций метро;
- объективная оценка слоговой разборчивости речи при работе системы озвучения станции в номинальном режиме должна быть не менее 80%.

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 излагается содержание всех необходимых операций.

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

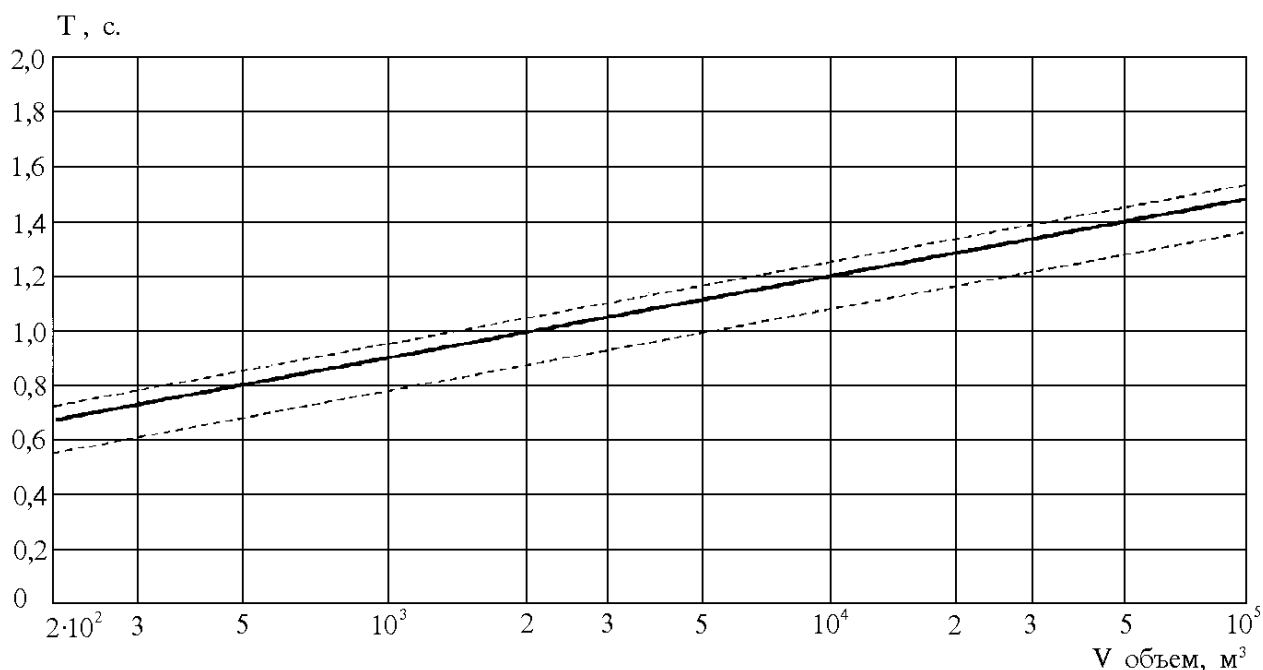
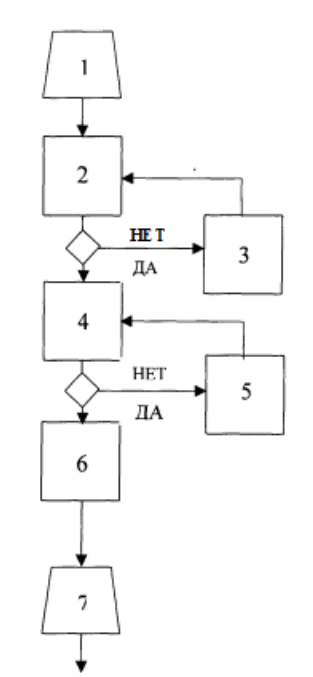


Рисунок 5.1. Рекомендуемое время реверберации на частотах 500-2000 Гц для залов станций в уровне посадочных платформ метрополитена



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 акустического проектирования станций метрополитена.

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

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

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

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

Ω_i - фактор направленности i -го источника звука;

N - общее количество источников звука;

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

При этом постоянная зала B определяется следующим образом:

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

Здесь $\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения (КЗП) зала станции в соответствующем диапазоне частот; S - общая площадь ограждений станции, включая все элементы интерьера.

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

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

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 фоновый шум от пассажиров. Поэтому будет логичным для приблизительных расчетов свести все источники шума к двум главным- одновременно входящим на станцию поездам одного типа. В этом случае формула (5.1) преобразуется к виду:

$$L = L_{Wn} + 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^2 \frac{\Omega_i}{4\pi r_i^2} + \frac{8}{B} \right\}, \quad \text{где } L_{Wn} = 10 \lg \frac{W_n}{W_0}. \quad (5.4)$$

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

$$\Omega = \frac{l+h}{b}, \quad (5.5)$$

где l – длина части свода потолка над электропоездом; h – высота стены от лотка до свода; a величина b – ширина пути.

В любом случае коэффициент Ω не может быть менее четырех (т.е. шести дБ), что можно использовать в ориентировочных расчетах, исходя из которых формулу (5.4) можно преобразовать к виду:

$$L = L_{Wn} + 10 \lg L = L_{Wn} + 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^2 \frac{1}{\pi r_i^2} + \frac{8}{B} \right\}. \quad (5.6)$$

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

- 1) перед поездом, на линии полосы безопасности;
- 2) в центре станции;
- 3) непосредственно перед пилоном или колонной (если они есть);
- 4) в проходе между пилонами, если площадь лицевых поверхностей пилонов занимает не менее 30% площади проемов;
- 5) непосредственно перед эскалатором или лестницей, на оси зала;
- 6) на противоположной точке по оси зала, если на станции имеется только один эскалатор (лестница);
- 7) на входе (выходе) в переход (если они есть).

При проведении расчетов по формулам (5.4) –(5.6) источники шума следует считать линейными, начиная от входа поезда на станцию до его полной остановки, т.е. по всей длине тормозного пути.

Посадочная платформа, находится в зоне действия прямого звукоизлучения подходящего поезда и первых отражений от стен и части сводов над платформами. Контроль этого положения следует подтверждать расчетом радиуса действия прямого звука R, представляющим расстояние, при удалении более которого к центру зала реверберационное поле (т. е. 2-ой член формул (5.4) и (5.6)) заведомо прева-лирует над полем прямого звука,

$$R = 0,35 \sqrt{\frac{\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}} S \quad (5.7)$$

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

Частотная характеристика уровня шумового фона акустически необработанно-го помещения, рассчитанная по формуле (5.6), должна сравниваться с допустимой кривой уровней предельных спектров. Допустимые уровни шума на платформах и вестибюлях станций метрополитена представлены в таблице 5.1. При этом следует учесть, что если расчеты уровней шума для некоторых частот практически совпадут со значениями таблицы 5.1, это является недостаточным, т. к. мы заведомо пренеб-регли шумовым фоном от пассажиров и других составляющих общего шумового ре-жима залов станций метрополитена. Поэтому все расчетные значения $L(f)$ (f – час-тоты 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 на-блюдается 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, дБА
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
94	87	82	78	75	73	71	70	80

Расчет уровней звука по шкале «А» максимально коррелированной с характеристиками слухового восприятия, производится по формуле:

$$L_A = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^8 10^{0,1[L_i(f) + K_{Ai}]} \right), \quad (5.8)$$

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

K_{Ai} - поправочные коэффициенты для каждого диапазона частот (дБ), принимаемые по таблице 4.1

В случае превышения расчетных уровней шума над нормативными, что практически всегда бывает в акустически необработанном помещении, следует производить первую коррекцию проектного решения зала станции (см. структурную схему на рисунке 5.2).

5.3.3 Первая коррекция проекта (третий этап по рисунку 5.2) базируется на известном факте, что в шумных помещениях с распределенными источниками шума наиболее эффективными средствами борьбы с шумом являются подавление шума в источнике и в ближнем поле (прямой звук и звук, отраженный от ближайших отражающих поверхностей). Методы борьбы с шумом в источнике не входят в компетенцию настоящего документа, т. к. они в основном включают средства борьбы с виброизлучением конструкций, примыкающих к рельсовому пути. В связи с этим весьма важным для шумоглушения является эффективное покрытие звукопоглощающими конструкциями стен вдоль поездных путей и части потолков (сводов) над ними. Общие требования к звукопоглощающим материалам и конструкциям, допускаемым к применению на станциях метрополитена, изложены в приложении Г.

В приложении Д представлены частотные характеристики КЗП некоторых, наиболее распространенных в практическом применении, материалов и конструкций. Рекомендованные места обязательного размещения звукопоглощающих материалов представлены на эскизе рисунка 5.3. После выбора и размещения по схеме рисунка 5.3 звукопоглощающих материалов производится контрольный расчет скорректированного уровня звука в характерных точках зала станций метрополитена по формуле (5.6), с учетом нового значения постоянной В. 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 [7].

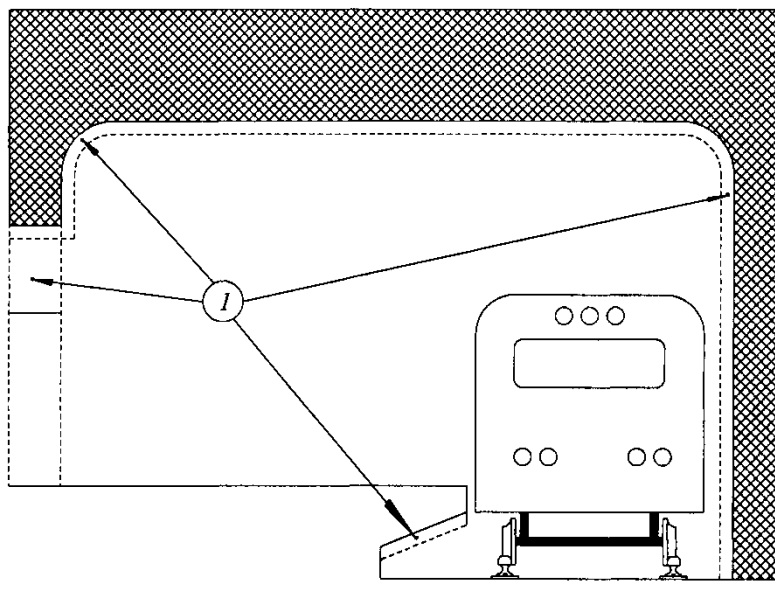


Рисунок 5.3. Схема обязательных мест размещения звукопоглощающей отделки в станциях метрополитена (1 – звукопоглощающая облицовка)

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

Для ориентированных расчетов минимально необходимого общего фона звукопоглощения зала станции ($A_{\text{треб.}}$) можно использовать следующие формулы:

$$A_{\text{треб.}} = \frac{SB_{\text{треб.}}}{S + B_{\text{треб.}}}, \quad B_{\text{треб.}} = 10^{-0,1(\Delta_m - 9)}, \quad (5.9)$$

где $\Delta_m = L_{\text{дон}} - L_n$,

$L_{\text{дон}}$ - допустимые уровни шумового фона, определяемые с помощью таблицы

5.1.

5.3.4 На четвертом этапе акустического проектирования производится контрольный расчет частной характеристики времени реверберации на предмет соответствия разработанного акустического решения отделки ограждений помещения станций, рекомендованным зонам оптимумов $T(V)$ на рисунке 5.1. Расчет производится по известной формуле Эйринга:

$$T = \frac{0,163V}{S\varphi(\alpha) + nV}, \quad (5.10)$$

где V – общий воздушный объем зала станции в уровне посадочной платформы, м³;

S – общая площадь внутренних поверхностей зала, м²;

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

$$\varphi(\alpha) = -\ln(1 - \bar{\alpha}); \quad (5.11)$$

n – коэффициент, учитывающий поглощение звука в воздухе зала станции, м⁻¹.

Коэффициент n обычно рассчитывается для частот 2000 и 4000 Гц из диапазона частот, принятых для расчета времени реверберации (125 – 4000 Гц). Остальные обозначения аналогичны приведенным в формулах (5.1), (5.2).

В приложении Е приведены данные об ЭЗП стоящих на отражающем полу пассажиров при разной плотности расстановки на 1 м², и значения коэффициента n для разного влажностного режима помещения, при температуре 20°C.

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

Необходимо отметить, что точность расчетов времени реверберации должна быть в пределах $\pm 0,05$ с, а зона оптимумов времени реверберации должна находиться в трубке, указанной пунктиром на рисунке 1. При этом величины времени реверберации, большие зон оптимумов $T(V)$ могут приводить к избыточной гулкости зала станции, что неизбежно приведет к повышению шумового фона и потере разборчивости речи, а излишняя переглушенность зала станции, приводящая к значениям T меньшим 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 рис.1; в диапазоне низких частот (125 – 250 Гц) допускается расхождение в пределах $T_{\text{опт}} \pm 20\%$, однако предпочтение следует отдать снижению времени реверберации на низких частотах.

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

$$A_{расч} = \bar{\alpha}_{расч} S \quad . \quad (5.12)$$

Отсюда требуемый добавочный фонд звукопоглощения определяется следующим образом:

$$\Delta A_{преб} = A_{онм} - A_{расч} \quad , \quad A_{онм} = \bar{\alpha}_{онм} S \quad , \quad (5.13)$$

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

$$\varphi(\bar{\alpha}_{онм}) = -\ln(1 - \bar{\alpha}_{онм}) = V \frac{0,163 - T_{онм}^n}{T_{онм} S} \quad . \quad (5.14)$$

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

Необходимо отметить, что расчет времени реверберации по формулам (5.10) –(5.14) справедлив для помещений станций с диффузным звуковым полем, имеющим равномерное распределение звуковых потоков по всем возможным направлениям их прихода, и единый акустический объем зала станции. Диффузность поля существенно нарушается при явной диспропорциональности зала станции (длинные залы станций с низкими потолками), а также при наличии гладких отражающих поверхностей большой площади, приводящих к фокусировке звука (например, сводчатый потолок с центром кривизны, близким к плоскости пола). Такая конфигурация ограждений может привести к вырождению времени реверберации по разным модам и направлениям, и сделать неэффективной 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,

СП ХХ.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

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 аperiodическими и, по крайней мере, хотя бы часть из них должна иметь размеры не менее $0,5 \div 1,0$ м по шагу сетки кессонов и $20 \div 30$ 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% от площади проемов, процесс реверберации не может быть описан единой экспоненциальной кривой и, следовательно, формула (5.10) не может быть использована в прямом виде для описания хода отзвука единообразно во всем объеме зала станции. При этих условиях процесс реверберации в каждом из отдельных объемов (посадочные платформы и центральный зал станции) описывается следующими формулами (каждый из отдельных объемов условно назван по номерам 1-м и 2-м):

$$L_1(t) = 10 \lg \left\{ e^{\delta_1 t} + K_{1,2} e^{\delta_2 t} \right\} ; \quad L_2(t) = 10 \lg \left\{ e^{\delta_2 t} + K_{1,2} e^{\delta_1 t} \right\} , \quad (5.15)$$

где

$$\delta_1 = 85 \frac{S'_1}{V_1} \ln(1 - \bar{\alpha}_1) ; \quad \delta_2 = 85 \frac{S'_2}{V_2} \ln(1 - \bar{\alpha}_2) ; \quad K_{1,2} = \frac{S_{1,2}^2}{(\bar{\alpha}_1 S'_1)(\bar{\alpha}_2 S'_2)} . \quad (5.16)$$

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

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

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

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

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

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

Расчеты по формулам (5.15), (5.16) 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 спада и поздняя реверберация по спаду уровней от - 10 (15) дБ до - 30 (40) дБ. Влияние последней особенно важно, если она значительно больше начальной реверберации и, следовательно, маскирует ее и нарушает нормальное восприятие речи. Следует отметить, что в случае массивных пилонов, разделяющих общий объем станции на три части (размер каждой стороны которых не менее 1 м), площади и объемы воздушных проемов между ними должны быть, для упрощения расчетов, включены в один из связанных акустических объемов.

Расчет остальных акустических критериев, и в первую очередь критериев разборчивости речи, должен производиться 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, как уже говорилось, анализа эффектов возможной концентрации отражений, эхо и флаттера. Такие построения делают или графически на масштабных чертежах станций, или с помощью известных программ компьютерного моделирования акустики зальных помещений.

5.3.6 Электроакустический расчет залов станций метрополитена (шестой этап по рисунку 2) следует начинать с выбора типа системы озвучения и расчета необходимой общей мощности электроакустических трактов. Из практики озвучения зала станции метрополитена хорошо известно, что для хорошей разборчивости информационной речи в шумных станциях с тенденцией к повышенной гулкости, поздней реверберации из связанных объемов и опасностью эхообразований, следует выби-

СП ХХ.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

рать 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 200Гц), мало влияющего на увеличение разборчивости речи.

Расчет минимально требуемой общей акустической мощности звукоизлучателей следует проводить по формуле

$$P_{ак} \geq 0,37 \cdot 10^{-13} \cdot \frac{V}{T} \cdot 10^{0,1 \bar{L}_{треб}(αα)} \quad (\text{Вт}) , \quad (5.17)$$

где V – общий воздушный объем зала станции (м^3);

T - его время реверберации (с);

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

Для точных расчетов по формуле (5.17) следует учесть допустимые уровни шума в октавных полосах частот (таблица 5.1), при том условии, что обеспечение этих уровней в исследуемом зале станции уже достигнуто на предыдущих этапах расчета. Далее следует увеличить величины расчетных уровней звука в каждом диапазоне частот на требуемое отношение сигнал/шум. При этом считается допустимым обеспечить отношение сигнал/шум не менее 15 дБ в диапазоне высоких частот; не менее 10 дБ – в диапазоне средних частот, и достаточным в 5-6 дБ – а диапазоне низких частот.

Для ориентировочных расчетов можно использовать обычно рекомендуемый средний уровень звука на станции метрополитена, равный $\bar{L}_{треб} \cong 100 \text{ дБ}$, исходя из которого формула (5.17) преобразуется к виду:

$$P_{ак} \geq 0,37 \cdot 10^{-3} \frac{V}{T} \quad (\text{Вт}) . \quad (5.18)$$

Общую минимально требуемую электрическую мощность источников звука следует определять по формуле:

$$P_{эл} \geq \frac{P_{ак}}{\eta} \Pi , \quad (5.19)$$

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

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

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

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

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

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

$$R_d \approx 0,1 \sqrt{\frac{BD(\Theta)}{M}}, \quad (5.20)$$

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

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

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

$$L_{np} = 20 \lg p_1 + 20 \lg D(\Theta) - 20 \lg(r / r_0) + 94 \quad (\text{дБ}) \quad (5.21)$$

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

Контрольные расчеты уровней звука по формулам (5.18) – (5.21) позволят проверить правильность выбранных типов, мест размещения и направленности акустических осей распределенной системы озвучения.

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

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

$$E = L_p - L_{ш} \quad , \quad (5.22)$$

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 определяется коэффициент разборчивости в каждой полосе:

$$W = \frac{E + 6}{30} \quad , \quad (5.23)$$

что позволяет определить формантную разборчивость (1- 6 – номера октав),

$$A = 0,05 [W_1 + 3W_2 + 4W_3 + 6W_4 + 5W_5 + W_6] \quad . \quad (5.24)$$

По формантной разборчивости A определяется слоговая 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

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

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

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

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

5.4.1 Подготовительный этап, состоящий в ознакомлении на месте с акустической обстановкой зала станции, субъективной оценкой уровней шумового фона и разборчивости информационной речи, подготовке и анализу масштабных чертежей зала станции метрополитена, подготовке и поверке 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, подробно указанные в предыдущем разделе.

Акустические измерения производятся 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 проводятся в пустом зале станции с необходимой статистической выборкой.

5.4.2.2 Измерения шумового режима станции во всех отмеченных точках, согласно ГОСТ 23337. Измерения проводятся в часы-пик, при полном заполнении станции, при въезде на станцию 1-2-х 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 проводятся в обязательном порядке в пустом зале станции согласно ГОСТ 24146. Для контрольных измерений времени реверберации могут быть использованы дополнительные данные измерений шумового фона на современных программируемых спектроанализаторах, имеющих соот-

ветствующие сменные модули. В последнем случае измерения проводятся 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 (октавных) полосах частот. Все измерения проводятся 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 допускается использование расчетного метода оценки разборчивости речи по формулам (5.21) – (5.23) на основании данных натуральных измерений октавных уровней полезного сигнала и шума. Допускается также использование приборов и процессорных устройств, проводящих измерения разборчивости 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 производились в пустом зале станции, при обработке результатов измерений следует вводить поправки на максимальное заполнение зала станции пассажирами в часы-пик. Для этого необходимо используя формулу Эйринга (10) вводить путем обратного пересчета поправку ΔA_{II} из расчета 0,5 м²/чел. согласно приложению Е. Это дает возможность рассчитать как время реверберации заполненного зала станции, так и поправки на снижение уровней звука при озвучении в соответствующих октавных полосах ΔL по следующим формулам:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A_n}{A_3} , \quad (5.25)$$

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

$A_3 = A_n + \Delta A_{nac}$ - общий фонд ЭЗП зала станции при максимальном заполнении пассажирами. Величина ΔA_{nac} равна

$$\Delta A_{нас} = 2S_{пола}a_1(f), \quad (5.26)$$

где $S_{пола}$ - площадь пола станции (m^2);

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

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 здесь в принципе должна соответствовать общей структурной схеме (рисунок 5.2). Однако в данном случае должен учитываться 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. Схематически план и продольный разрез зала станции изображены на рисунке 5.4. По общей форме зал станции близок к прямоугольному параллелепипеду с размерами в плане $162 \times 17,6$ м, при общей высоте зала ~ 6 м; при этом ширина посадочной платформы составляет 10 м и высота кессонированного потолка над ней ~ 5 м. Станции такого типа получили достаточно широкое распространение.

Так как обследуемые залы не имеют разделяемых объемов, то несмотря на диспропорциональность их основных размеров, расчеты времени реверберации T , общего фонда звукопоглощения A и постоянной помещения B следует проводить на основании формулы Эйринга (5.10). Ниже 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 в уровне посадочной платформы: пол - шлифованный камень, стены - гладкие плиты, потолок и своды - бетонные поверхности с побелкой и покраской. Здесь же, в четвертой строке приведены результаты измерений уровней звуковой мощности подвижного состава при входе на станцию

$L_{\max}(f)$. Все расчеты производились из условия минимального заполнения зала станции пассажирами ($\sim 6 \text{ чел/м}^2$).

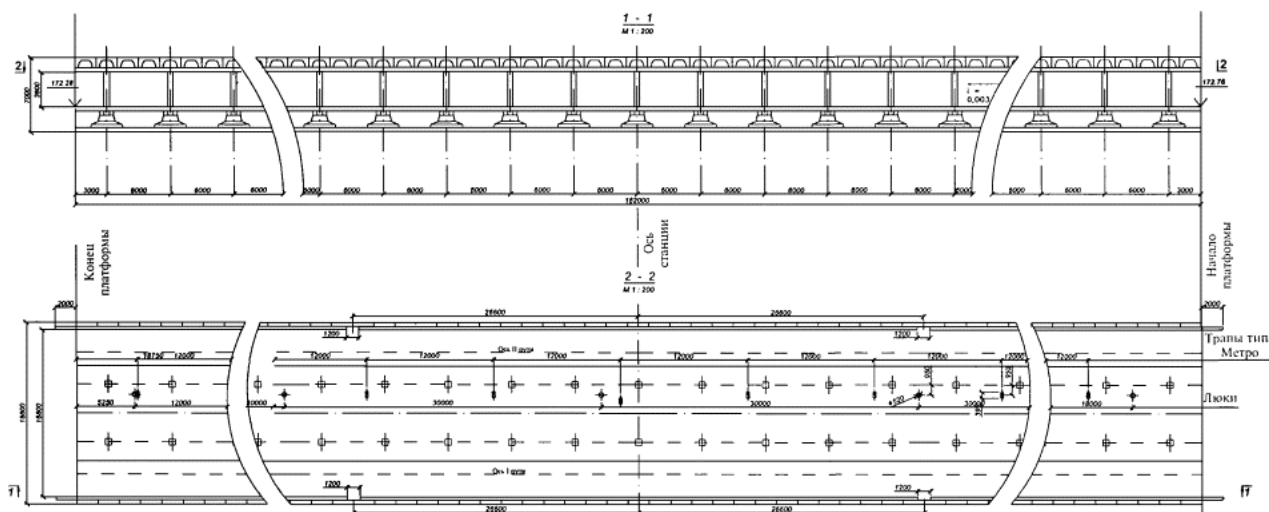


Рисунок 5.4 - Схематический план и продольный разрез зала станции метрополитена мелкого заложения

При этом средний радиус действия прямого звука R_0 , согласно формуле (5.7), составлял величину порядка $\cong 12 \text{ м}$. Отсюда следует, что максимально неблагоприятными местами для восприятия речевой информации при подходе двух встречных поездов являются точки на оси зала станции, т.е. при $r_i \approx 5 - 7 \text{ м}$. Тогда расчет уровня шумового фона по формуле (5.6) для уровня L_{\max} на полосе максимального излучения, согласно таблице 5.3 при 500 Гц, показывает величину $L_0 \cong 84,5 \text{ дБ}$. Согласно же таблице 5.1 полученная величина оказывается для выбранной полосы частот больше на 6,5 дБ допустимой величины $L_{\text{доп}} = 78 \text{ дБ}$. Учитывая, что практически вся платформа находится в зоне действия прямого звука, для расчета требуемого для достижения нормативного уровня шумового фона общего фонда звукопоглощения $A_{\text{треб}}$ следует применить не упрощенную формулу (5.9), а проводить расчеты по вариации полной формулы (5.6). Соответствующие расчеты показали, что указанное условие выполняется при обеспечении постоянного помещения $V_{\text{треб}} \geq 2200$. 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_{\max}

СП ХХ.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

№№	$f, \text{Гц}$	125	250	500	1000	2000	4000
1	$T_0, \text{с}$	2,6	2,3	2,1	2,0	1,9	1,7
2	$\bar{\alpha}_0$	0.11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
3	$B_0, \text{м}^2$	976	1077	1180	1286	1394	1505
4	$L_{\text{max}}, \text{дБ}$	86	91,5	99	97	86	77,5

Учитывая необходимость введения в интерьер зала станции звукопоглощающей отделки, надо отделать потолок над полом платформы стандартными звукопоглощающими плитами, имеющими КЗП 0,3-0,6 в диапазоне от низких к высоким частотам (см. Приложение Д). Ниже, в Таблице 5.4 приведены результаты расчета среднего КЗП зала станции метрополитена $\bar{\alpha}_1(f)$, времени реверберации $T_1(f)$ и постоянной помещения зала станции $B_1(f)$, рассчитаны указанными выше методами при условии звукопоглощающей отделки потолка станции над платформой. В четвертой строке приведены также результаты расчетов уровней шумового фона по формуле (5.6).

Таблица 5.4 Результаты расчетов величин $\bar{\alpha}_1(f), T_1(f), B_1(f)$ и измерение уровня $L_u(f)$

№№	$f, \text{Гц}$	125	250	500	1000	2000	4000
1	$\bar{\alpha}_1(f)$	0,17	0,18	0,21	0,23	0,25	0,26
2	$T_1(f)$	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9
3	$B_1(f)$	1618	1734	2100	2360	2633	2776
4	$L_u(f)$	70,0	75,5	83,0	81,0	70,0	71,5

Из сравнения уровней шумового фона, рассчитанных при звукопоглощающей отделке центральной части потолка станции метрополитена с допустимыми уровнями шума в соответствующих октавных полосах по таблице 5.1, следует, что в диапазонах 500-1000 Гц наблюдается существенное превышение нормативных уровней; критичным является также диапазон 4000 Гц, важный для обеспечения разборчивости речевой информации. Эффективное снижение уровней шума в диапазоне сред-

них частот может быть достигнуто как снижением шума или в источнике, или же дополнительным эффективным заглушением ближних ограждений части потолка, расположенного над путями, и стен над путями (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.

Необходимым условием для этого является достижение оптимального значения времени реверберации зала станции, что, если сравнить данные таблицы 5.4 с зоной объемного оптимума на рисунке 5.1, обеспечено во всем диапазоне, кроме частот ниже 250 Гц. Последнее также должно быть учтено при расчете системы звукоусиления. Кроме того, сохранение полностью звукоотражающих поверхностей на всех стенах зала станции должен приводить к возникновению эффекта порхающего эха, который также может отрицательно повлиять на звукопередачу речевого сигнала. Вследствие всего изложенного при расчете системы звукоусиления необходимо обеспечить отношение сигнал/шум не менее 15 дБ по всем диапазонам частот во всех зонах зала станции, для чего требуемый по условию (5.18) уровень $L_{треб} = 100$ дБ должен быть создан при работе системы, как минимум в диапазонах частот 500÷1000 Гц. Исходя из этого расчет минимально необходимой акустической мощности по формуле (5.18) при $T \cong 1,1 \div 1,2$ с приводит к величине $P_{ак} \cong 5$ Вт, откуда по формуле (5.19) получим требуемую электрическую мощность $P_{эл} \cong 2500$ Вт. Современные широкополосные акустические излучатели средней мощности имеют $P_{эл} \cong 25$ Вт, откуда общее количество таких излучателей должно быть в зале станции не менее 100 шт. Одним из наиболее распространенных способов размещения излучателей в длинных и шумных залах станций является последовательная цепочка потолочных громкоговорителей, размещенных по центральной оси зала станции с шагом $l_i = l/M$ (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 (5.20)), у которых параметр $D(\Theta)$ обычно не превышает 10, составляет при $B \geq 2000$ величину порядка 2 м, что явно недостаточно. Вследствие этого рекомендуется разделить общую требуемую мощность излучения на 3 цепочки из высоко-среднечастотных остронаправленных громкоговорителей мощностью 12,5 Вт,

равномерно распределенных по центральной оси свода и верхней части стен (или, если это технически трудно осуществимо, по колоннам со стороны посадочных платформ). В этом случае максимальное удаление источника звука от головы пассажира в каждой точке зала станции не будет превышать 5 м при высокой концентрации верхних частот. Указанное условие обеспечит как требуемое отношение сигнал/шум, так и хорошую равномерность поля. Расчет разборчивости речи по формуле (5.24) показывает, что величина A повсеместно превышает 0,65, что обеспечивает слоговую разборчивость более 90% (см. Таблицу 5.2).

В заключение проведенного расчета необходимо отметить, что указанное массивное размещение громкоговорителей является необходимым условием обеспечения хорошей разборчивости речевой информации в зале исследованной станции; меньшее количество громкоговорителей может использоваться 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 широкое применение находит использование компьютерных программ математического моделирования звуковых процессов в закрытых помещениях. с расчётом известных параметров акустического качества залов различного назначения, в т.ч. и тех, которые использованы в данном СП (см. разделы 5.1 -5.5)¹. Однако, 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. рис.5.2), главной целью которой является достижение нужного соотношения сигнал/шум, как необходимого условия для достижения, с помощью систем озвучивания, требуемой разборчивости информационной речи.

¹ В настоящее время имеется ряд принятых в практике акустического проектирования профессиональных программ для создания компьютерных моделей акустики помещений. Наиболее распространённые из них: CATT-Acoustic; ODEON; EASE (с вычислительным модулем AURA) и AIST-3D. Последняя из этих программ создана в России.

В настоящее время разработка программного обеспечения для компьютеризации данной методики ещё ждёт своего решения.

Вместе с тем, при разработке комплекса мероприятий по улучшению акустики действующих станций метрополитена (см. раздел 5.4), известные программы моделирования акустики зальных помещений (см. примечание) могут быть с успехом применены в том случае, если задачей реконструкции является коррекция отделки ограждений зала станции с целью приближения времени реверберации к значениям объёмного оптимума (см. рис. 5.1) и перестройки систем озвучения для достижения требуемой разборчивости речевой информации. В этом случае математическая модель акустики зала станции строится на основе данных натуральных измерений акустических характеристик зала до начала работ по его реконструкции.

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 на основе требований санитарных норм [1], СП 51.13330, ГОСТ 23337. Учтены также рекомендации международного стандарта ИСО 1996/1:1982 [8].

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 нельзя (см. 6.4.9).

6.2 Нормируемые параметры и допустимые уровни шума

6.2.1 Шум, создаваемый в помещениях жилых и общественных зданий от дви-

жения 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 $L_{Aэкв}$ и максимальные $L_{Aмакс}$ уровни звука, дБА.

Оценка шума на соответствие допустимых уровням должна проводиться одновременно по обоим параметрам $L_{Aэкв}$ и $L_{Aмакс}$ (см. раздел 6.6).

6.2.3 Допустимые уровни звука, на соответствие которым должна проводиться оценка 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 по таблице 4.1.

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 А по ГОСТ 17187.

Допускается предварительная запись сигнала на измерительный магнитофон 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.

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

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

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 мет-

рополитена и удален не менее, чем на 0,5 м от оператора, проводящего измерение.

6.4.6 При проведении измерений максимального уровня звука $L_{Амакс}$ на приборе должна быть установлена динамическая характеристика “медленно” ($\tau=1$ 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: $T \geq 3,5 \div 5$ мин при измерениях в дневное время и $T \geq 3,5 \div 10$ 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 $L_{Аэkv}$ и максимальный $L_{Амакс}$ уровни звука за интервал времени T , а также $L_{Аэkv}^{(\Phi)}$ и $L_{Амакс}^{(\Phi)}$ фонового шума за время между прохождениями поездов ($L_{Амакс}^{(\Phi)}$ - для интервала, для которого зарегистрировано наибольшее значение $L_{Амакс}$). Вычисляют разности $\Delta L_{Аэkv} = L_{Аэkv} - L_{Аэkv}^{(\Phi)}$ и $\Delta L_{Амакс} = L_{Амакс} - L_{Амакс}^{(\Phi)}$.

При $\Delta L_{Аэkv} < 3$ дБ и $L_{Амакс} < 3$ дБ оценку шумового воздействия от движения поездов метрополитена в соответствии с настоящим сводом правил выполнить нельзя.

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

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

Для повышения надежности результата целесообразно измерения $L_{Aэкв}^{(\Phi)}$ повторить после выполнения измерений и усреднить по формулам из 6.5.2.

6.4.10 Выбирают точку с наибольшими значениями $L_{Aэкв}$ и $L_{Амакс}$. Дальнейшие измерения и обработку результатов проводят в этой точке.

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

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

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

6.5 Обработка результатов измерений

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

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

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

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

$$\bar{L}_{Aэкв} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{Aэкв,i} \quad (6.2)$$

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

$$L_{Aэкв,M} = \bar{L}_{Aэкв} + K + 10 \lg \left(\frac{n_{T,max}}{n_T} \right) + 10 \lg \left(\frac{T_m}{T_0} \right) - 15, \quad (6.3)$$

где K - поправка на уровень фонового шума, дБ;

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

$T_0 = 1$ мин.

Значение поправки K принимают в зависимости от разности ΔL_{Aeq} уровней измеряемого и фонового шума (см. 6.4.9):

$\Delta L_{Aэкв}$, 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 (16 ч днем и 8 ч ночью) вычисляют по формуле

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

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 на соответствие требованиям санитарных норм [1] посредством сравнения определенных по 6.5.1 и 6.5.3 значений

СП ХХ.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

максимального $L_{Амакс,R}$ и эквивалентного $L_{Аэkv,M}$ уровней звука с допустимыми значениями, приведенными в таблице 4.1.

При $L_{Аэkv,M} \leq L_{Аэkv,доп}$ и $L_{Амакс,R} \leq L_{Амакс,доп}$ требования норм выполнены.

При $L_{Аэkv,M} > L_{Аэkv,доп}$ или $L_{Амакс,R} > L_{Амакс,доп}$ 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 $L_{Аэkv,R}$, 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 ($L_{Аmax,R}$, $\bar{L}_{Аeq}$, $L_{Аeq,M}$, $L_{Аeq,R}$);

- * заключение по результатам оценки;
- * подписи лиц, проводивших измерения и оценку шумового воздействия.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(рекомендуемое)

Звукоизолирующая способность шумозащитных наружных ограждений

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

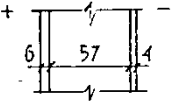
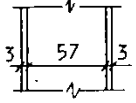
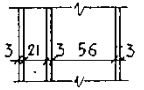
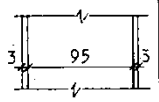
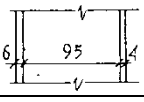
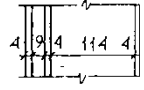
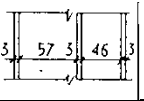
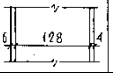
Обычные конструкции окон с естественной вентиляцией через открытые форточки или узкие створки обеспечивают нормальный шумовой режим в помещении, если уровни внешнего шума в 2 м от наружного ограждения не превышают допустимых уровней, установленных санитарными нормами [1] (см.таблицу 4.1). В противном случае возникает необходимость применения специальных шумозащитных окон с вентиляционными элементами, которые обеспечивают снижение внешнего шума до нормы и одновременное нормативное поступление воздуха в помещение.

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

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

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

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

№ п.п	Тип конструкции окна Схема остекления	Формула остекления, мм	Снижение транспортного шума ΔL , дБА	
			В закрытом положении	В открытом положении
1	2	2	4	5
1	Спаренная по ГОСТ 11214 	6+57+4	28	15
2	Спаренная по ГОСТ 11214 	3+57+3	24	15
5	Раздельная со стеклопакетом (СП) и стеклом по ГОСТ 24699 	(3+21+3)+ 56+3	33	15
3	Раздельная по ГОСТ 11214 	3+95+3	28	15
4	Раздельная по ГОСТ 11214 	6+95+4	31	15
6	Раздельная со стеклопакетом (СП) и стеклом ДОК-1, ДОК-6 ОАО МПСМ 	(4+9+4)+ 114+4	34 ¹⁾	15
7	Раздельно-спаренная по ГОСТ 11214 	3+57+3+ 46+3	33	15
8	Раздельная 2РШ по альбому РМ-1372 доп. 1 с клапаном-глушителем КГ-9 (МНИИТЭП) 	6+128+4	39	30

1	2	3	4	5
9	Со стеклом и стеклопакетом в одинарном переплете («Барановичдрев») 	$(3+12+3)+44+3$	33	15
10	С двухкамерным стеклопакетом с вентклапаном «Аэромат-80» 	$4+12+4+12+4$	31	28
11	С двухкамерным стеклопакетом «Евроокно» (ДОК-3, ОАО МПСМ) 	$4+8+4+8+4$	30	15
12	Со стеклопакетом (ОАО МПСМ) 	$4+20+4$	25 ¹⁾	15
13	Дерево-алюминиевое с СП и стеклом (ОАО «Заречье») 	$(5+15+5)+46+5$	33	15
14	Остекление балконов и лоджий 	3	17 ²⁾	7 ²⁾
¹ По данным изготовителей. ² При расчетах суммируется со значениями снижения транспортного шума ΔL (дБА) окон.				

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

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

Таблица А.2 – Двери с повышенной звукоизолирующей способностью - R_A , дБА

Конструкция полотна двери	Условия прилегания полотна по периметру притвора	Звукоизоляция, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						R_A , дБА
		125	250	500	1000	2000	4000	
Стандартное дверное полотно толщиной 40 мм	Через прокладку из пенополиуретана сечением 10×5 мм. Через прокладку из пористой резины сечением 14×3 мм	18	21	24	24	23	27	21
		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 напльвом, составленное из двух наружных листов фанеры и одного листа асбестоцемента по 6 мм каждый и двух промежуточных слоев стекловолокна по 10 и 50 мм	Через два ряда прокладок из пористой резины	21	25	31	37	39	35	27
Двойная дверь с тамбуром шириной 30 см (конструкция двери см. предыдущий пункт)	Через два ряда прокладок из пористой резины	31	29	36	46	49	42	34
Дверное полотно, составленное из трех стальных плит толщиной 2.2 и 3 мм, слоя песка 20 мм, стекловолокна 41 мм и резины 4 мм	Через прокладки из пористой резины	38	34	44	46	50	55	39

А.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

СП XX.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

раздельными переплетами, остекленное стеклом и стеклопакетом; это позволяет удачно сочетать теплофизические и акустические параметры окна.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Уровни звуковой мощности шума, генерируемого в шумоглушителях

Данные о собственном шумообразовании в глушителях сечением $0,5 \times 0,8 = 0,4$ м² с пластинами толщиной 100 и 200 мм приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1. Уровни звуковой мощности шума, генерируемого в глушителях ($\varphi_{св} = 0,5$) [9]

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

Примечания.

1. Звуковая мощность собственного шума глушителя практически не зависит от его длины, а определяется конструкцией глушителя.
2. Периметр звукопоглощающих конструкций поперечного сечения глушителей составляет при толщине пластин 200 мм - 2 м, при толщине 100 мм - 4 м.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Звукоизоляция объектов с помощью экранов

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

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

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

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

Таблица В.1 Снижение уровня звука протяженными экранами-стенками

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

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

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

В.6 Конструктивное исполнение экранов и материал для изготовления их элементов (бетон, дерево, сталь, алюминии, пластик и др.) следует подбирать в соответствии с требованиями и рекомендациями ГОСТ 33329, свода правил [4] и СТО [10]. При этом поверхностная плотность экрана-стенки должна быть не менее 20 кг/м^2 .

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

Подбор звукопоглощающих материалов и защитных покрытий, а также параметров облицовок следует производить в соответствии с рекомендациями, изложенными в СП 51.13330, ГОСТ 33329, своде правил [4] и СТО [10].

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 ветро-

СП XX.1325800.2016
(проект, 1-я редакция)

вые нагрузки; должны быть транспортабельными; простыми при возведении, монтаже и эксплуатации, а также должны отвечать эстетическим требованиям.

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

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(рекомендуемое)

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

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

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

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

Частотные характеристики коэффициентов звукопоглощения некоторых

Таблица Д.1 - Строительные материалы конструкции [11]

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 - Некоторые акустические конструкции

Тип конструкции	Коэффициенты звукопоглощения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Слой пористо-волокнутого 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 отнoса	0,3	0,9	0,99	0,99	0,99	0,95
- с воздушным отнoсом 200 мм	0,47	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Слой пористо-волокнутого материала ¹ толщиной 100 мм, покрытый стеклотканью, размещенный без воздушного отнoса 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-волокнутым материалом ¹ толщиной 80 мм и оклейкой по ребрам стеклотканью, на воздушном отнoсе 100 мм	0,45	0,87	0,99	0,99	0,99	0,97
¹ Слой пористо-волокнутого материала: минераловатные плиты плотностью 80 -- 100 кг/м ³ или супертонкое стекловолокно плотностью 15 кг/м ³ . Примечание - Полная номенклатура звукопоглощающих материалов и конструкций приведена в Справочнике [12]; данные по объемным звукопоглотителям приведены в Руководстве [7].						

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(справочное)

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

Таблица Е.1 - Эквивалентное звукопоглощение пассажиров в уровне посадочной платформы станции метрополитена, м²

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

Таблица Е.2 - Значения коэффициента n , м⁻¹, для учета поглощения звука в воздухе при температуре 20 °С

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

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(обязательное)

**Вычисление эквивалентного уровня звука за время оценки шумового
воздействия**

Ж.1 В силу дискретного характера шума, создаваемого движением поездов метрополитена эквивалентный уровень звука за время оценки $L_{Aэкв,R}$ можно определить по формуле [8]

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

где L_{AEi} - скорректированный по частотной характеристике А уровень звукового воздействия шума от прохождения i -го поезда, дБА;

N - число событий прохождения поезда за время T_R оценки шумового воздействия;

$$T_0 = 1 \text{ с.}$$

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

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

где постоянная C задается формулой

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

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

Таблица Ж.1 - Значения постоянной С для линий Московского метрополитена

Значение С, дБ, для линии										
Вре- мя оцен- ки	Соколь- ническая	Замос- кво- рец- кая	Арбат- ско-Пок- ровская	Фи- левс- кая	Коль- цевая	Калуж- ско- Рижс- кая	Таган- ско-Крас- нопрес- ненс- кая	Кали- нинс- кая	Серпу- ховско- Тими- рязевс- кая	Люб- лин- ская
День с 7 ч до 23 ч	0	0	1	2	0	0	1	2	1	3
Ночь с 23 ч до 7 ч	7	4	6	8	6	5	6	8	7	8

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

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

где T_m - общее время выполнения измерений, мин, выбираемое по п. 6.4.11;

n_T - число событий прохождения поезда за время измерения T_m .

Примечание – Выражения (6.3) и (6.4) в 6.5.3 и 6.5.4 следуют из подстановки выражения (Ж.4) в (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. Санитарные нормы
- [2] СП XX.1325800.2016. Здания и территории. Системы шумоглушения воздушно-го отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила проектирования
- [3] СП XXX.1325800.2016. Здания и территории. Правила проектирования защиты от производственного шума
- [4] СП XXX.1325800.2016. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков
- [5] СП 23-104-2004 Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена
- [6] Методические указания МУК 4.3.2194—07 Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях. Методические указания
- [7] Руководство по акустическому проектированию объемных звукопоглотителей. - М.: Стройиздат, 1984.
- [8] ISO 1996/1:1982 Акустика. Описание и измерение окружающего шума. Часть 1. Основные величины и методы.
- [9] Руководство по расчету и проектированию шумоглушения вентиляционных установок. НИИСФ Госстроя СССР. Москва, Стройиздат, 1982
- [10] СТО Автодор 2.9-2014 «Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации акустических экранов на автомобильных дорогах государственной компании «Автодор»
- [11] Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости. - М.: Стройиздат, 1972.
- [12] Справочник по защите от шума и вибраций жилых и общественных зданий. - К.: Будивэльнык, 1989.

УДК 69+628.517.2 (083.75)

ОКС 17.140.01

УДК 534.835.46

140.20

УДК 534.836.2

140.30

Ключевые слова: метрополитен, поезд метро, вестибюль станции метрополитена, шум, защита, источник шума, акустический расчет, электроакустический расчет, снижение шума, проектирование, строительство, эксплуатация, архитектурно-планировочное мероприятие, строительно-акустическое мероприятие, звукоизоляция, ограждающая конструкция, звукоизолирующий кожух, звукопоглощающая конструкция, акустический экран,

Директор Научно исследовательского института
строительной Физики Российской академии архитектуры
и строительных наук, д.т.н.

И.Л. Шубин

Руководитель разработки – директор д.т.н

И.Л. Шубин

Исполнители:

главный научный сотрудник лаборатории №34 д.т.н.

И.Е. Цукерников

ведущий научный сотрудник лаборатории 34 д.т.н.

Т.О. Невенчанная

главный научный сотрудник лаборатории №42 к.т.н.

В.Н. Сухов

ведущий научный сотрудник лаборатории 42 к.т.н.

Х.А. Щиржецкий