ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ НЕОБХОДИМОГО СНИЖЕНИЯ ЗВУКА У НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРЕБУЕМОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНОВ С УЧЕТОМ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА

МОСКВА 2003

gost.e-ecolog.ru

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Утверждено распоряжением
Минтранса России
№ ОС-362-р от 21.04. 2003 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ НЕОБХОДИМОГО СНИЖЕНИЯ ЗВУКА У НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРЕБУЕМОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНОВ С УЧЕТОМ ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ

Издание официальное

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
(РОСАВТОДОР)

Москва 2003

Оглавление

Предисловие 3
1. Общие положения 4
2. Порядок определения и оценки необходимого снижения уровня звука у населенных пунктов 4
3. Определение требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения 12
4. Выбор конструктивного исполнения шумозащитного экрана и технологические основы его проектирования 31
5. Рекомендации по определению шумовых характеристик автотранспортных потоков. Метрологическое обеспечение их измерения 57

Приложения

Приложение 1. Некоторые сведения из акустики 66
Приложение 2. Перечень основных нормативно-технических документов 72
Приложение 3. Рекомендуемая форма технического задания на разработку шумозащитного экрана 74
Приложение 4. Рекомендуемая форма акустического обоснования мероприятий на этапе проектировании шумозащитных средств 76
Приложение 5. Акустическое обоснование применения шумозащитного экрана. Пример расчета 78
Список принятых обозначений 94

Предисловие

Методические рекомендации разработаны в развитие Руководства по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума и содержат Методические рекомендации определения и оценки необходимого снижения уровня звука экранами у населенных пунктов, а также включают ключевые проблемы выбора и расчета параметров экрана, обеспечивающих требуемое снижение шума при его конструктивном исполнении.

Методические рекомендации разработаны НИИСФ РААСН при участии ЗАО «Компания Дорожные технологии», ДГУП «Инновационно-технологический центр», ООО «Эварс Стайл» (авторы: д-р техн. наук Осипов Г.Л., канд. техн. наук Шубин И.Л., академик Международной академии транспорта Попов В.А., канд. техн. наук Лебедев В.И., ст. научный сотрудник Аистов В.А.).

При разработке Методических рекомендаций использованы результаты сравнительного анализа рассматриваемых акустических методик различных стран и организаций, в том числе Международной организации стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссии (МЭК): стандарты ИСО 1996, 9613; стандарты МЭК 60804, 61672.

1. Общие положения

1.1. Настоящие Методические рекомендации ориентированы на применение при проведении акустических расчетов по оценке степени шумового дискомфорта у примагистральных населенных пунктов и разработке мероприятий для обеспечения нормативных уровней шума, установленных санитарными нормами.

1.2. Защита примагистральных жилых и общественных зданий от транспортного шума осуществляется по следующим основным направлениям:

• источники шума – конструктивными и административными методами (создание и применение малошумных транспортных средств, регламентация времени, скорости их работы, запрет транзитного транспорта, ограничение грузового транспорта);

• средства защиты – архитектурно-планировочными и конструктивными методами (применение наружных ограждающих конструкций);

• пути распространения шума от источника до объекта шумозащиты – инженерно-строительными методами и средствами.

Настоящие Методические рекомендации разработаны применительно к акустическим экранам (шумозащитным придорожным экранам), снижающим шум на пути его распространения.

1.3. Выбор тех или иных средств защиты от шума, определение необходимости и целесообразности их применения следует производить на основе расчета необходимого снижения уровня звука на селитебной территории и определения требуемой эффективности экранов с учетом звукопоглощения.

2. Порядок определения и оценки необходимого снижения уровня звука у населенных пунктов

2.1. Для расчета требуемого снижения транспортного шума и проектирования средств защиты от него застройки необходим рациональный перечень исходных данных.

Рациональный перечень исходных данных для расчета ожидаемых уровней шума в расчетных точках на территории

населенных пунктов определяется типом учитываемых источников внешнего городского шума, особенностями планировочной структуры и рельефа местности населенного пункта, назначением защищаемых от шума объектов и участков территории.

Одним из основных, наиболее распространенных источников внешнего шума на территории населенных пунктов (городов) являются потоки легковых и грузовых автомобилей и общественного транспорта на улично-дорожной сети населенного пункта (города).

Исходным шумовым параметром автотранспортного потока, необходимым для проведения различных акустических расчетов, является его шумовая характеристика.

В качестве шумовой характеристики автотранспортного потока ГОСТ 20444-85 [1] установлен эквивалентный уровень звука, создаваемый потоком на расстоянии 7,5 м от оси ближайшей полосы движения автотранспорта и на высоте 1,5 м над уровнем проезжей части.

Шумовые характеристики автотранспортных потоков определяются для всех стадий проектирования расчетными методами. Лишь для настоящего периода они могут быть определены также и методом натурных измерений [1]. Однако такие измерения в масштабах всего населенного пункта (города) очень трудоемки, требуют больших затрат времени и финансов, что значительно затрудняет или делает даже невозможным в ряде случаев их проведение в полном объеме. Поэтому при оценке шума транспортных потоков в настоящий период часто применяют также расчетные методы. Для повышения надежности этих методов в условиях каждого конкретного населенного пункта нередко проводят выборочные измерения шумовых характеристик транспортных потоков и по ним корректируют расчетную методику, добиваясь наилучшей сходимости результатов расчетов с результатами натурных измерений.

Исходными данными для расчета шумовых характеристик автотранспортных потоков являются:

• интенсивность движения автотранспорта в часы пик дневного времени и наиболее шумный час ночного времени, натуральные ед./ч;

• суммарная доля грузового и общественного транспорта в потоке, %;

• средняя скорость движения автотранспорта в потоке, км/ч.

• Для повышения точности расчета шумовых характеристик автотранспортных потоков необходимо учитывать ряд дополнительных параметров рассматриваемых магистралей, таких как:

• продольный уклон проезжей части магистрали (улицы, дороги);

• тип верхнего покрытия проезжей части;

• ширина разделительной полосы;

• число полос движения транспорта;

• длительность светофорного цикла вблизи перекрестков (разрешающая/запрещающая фаза светофора);

• тип застройки по обе стороны магистрали.

Кроме шумовых характеристик автотранспортных потоков, для расчетов ожидаемых уровней шума в расчетных точках на территории и в застройке населенных пунктов необходима следующая исходная информация:

• планировочная подоснова населенного пункта (города) с указанием расположения всех учитываемых автотранспортных магистралей;

• на планировочной подоснове должны быть показаны функциональные зоны или защищаемые от шума объекты (в соответствии с масштабом карты) и должен быть установлен допустимый для них уровень звука в соответствии с санитарными нормами (СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [2]) ;

• для каждой автотранспортной магистрали должны быть выделены участки с характерными параметрами движения и состава транспортных потоков и рассчитаны их шумовые характеристики;

• для выполнения акустических расчетов необходимо дополнительно определить по проекту вертикальной планировки территории отметки высот проезжей части магистралей, расчетных точек, основания проектируемого экрана.

2.2. Для оценки ожидаемого шумового режима на участке территории населенного пункта, который необходимо защитить от

автотранспортного шума с помощью экрана, и определения основных акустических и конструктивных параметров шумозащитного экрана нужно выполнить следующие действия:

• на основании анализа ситуационного плана рассматриваемого участка городской территории выявить автотранспортные магистрали, на которых потоки автомобилей являются основными источниками шума, воздействующего на данную территорию и расположенные на ней жилые и общественные здания;

• условно разбить рассматриваемый участок территории на отдельные подучастки, отличающиеся по условиям генерации и распространения шума. В случаях, если между транспортной дорогой и расчетной точкой расположены экраны, или дорога (улица) на рассматриваемом участке резко изменяет свое направление, или шум в расчетную точку поступает от двух или большего числа дорог (улиц), то производят разбивку территории на участки, отличающиеся условиями распространения шума. При этом поступают следующим образом. Из расчетной точки на плане территории проводят лучи через края экранов (например, существующих зданий), через точки пересечения (или резкого изменения направления) улиц до пересечения с осями этих улиц. При этом получается ряд дополнительных участков, для каждого из которых следует провести самостоятельный акустический расчет;

• для каждого выделенного подучастка рассчитать шумовые характеристики относящихся к нему автотранспортных магистралей;

• выбрать расчетные точки в наиболее характерных местах намеченных подучастков территории, а также в необходимых случаях и в помещениях жилых и общественных зданий;

• рассчитать ожидаемые уровни шума в расчетных точках. Если шум в расчетную точку попадает от нескольких подучастков, то для каждого подучастка выполняется свой самостоятельный расчет, полученные результаты затем энергетически суммируются;

• определить требуемое снижение уровней шума в расчетных точках путем сравнения рассчитанных ожидаемых уровней шума с уровнями, допустимыми по санитарным нормам [2];

• с учетом требуемого снижения уровней шума определить требования к параметрам и конструкции проектируемого шумозащитного придорожного экрана.

При расчете уровней шума на площадках детских дошкольных учреждений, на участках школ, на площадках отдыха микрорайонов, кварталов и групп жилых домов, на территориях больниц и санаториев расчетные точки выбирают на ближайшей к источнику шума границе площадок на высоте 1,5 м над уровнем их территории. При произвольном расположении расчетной точки на территории населенного пункта ее высота принимается также равной 1,5 м.

Расчетные точки на территориях, непосредственно прилегающих к жилым и общественным зданиям, выбирают согласно [4] на расстоянии 2 м от фасадов зданий как со стороны уличного, так и со стороны дворовых фасадов на уровне середины окон первого и последнего этажей зданий. Если расстояние от источника шума до здания составляет свыше 100 м, то можно ограничиться только одной расчетной точкой на уроне верхнего этажа. При наличии экранирующих сооружений ряд расчетных точек должен выбираться в зоне акустической тени за экранами.

2.3. Расчет ожидаемых уровней шума в расчетных точках на территории и внутри помещений

2.3.1. Ожидаемый уровень звука ($L_{A\,р\,т}$) в расчетной точке от каждого подучастка рассчитывают по формуле

$$L^{терр}_{A\,р\,т} = L_{Аэкв} - L_{A\,рас} - L_{A\,воз} - \Delta L_{в/т} - L_{A\,пок} - L_{Азел} - L_{A\,экр} - L_{A\,застр} + L_{A\,отр} - \Delta L_{A\alpha}, \text{ дБА}, \qquad (2.1)$$

где $L_{Аэкв}$ – шумовая характеристика автотранспортного потока, на магистрали, проходящей по соответствующему подучастку, дБА;

$L_{Арас}$ – снижение уровня шума автотранспортного потока, в зависимости от расстояния между ним и расчетной точкой, рассчитывается по формуле (2.2), дБА;

$L_{Авоз}$ – снижение уровня шума, вследствие его затухания в воздухе, рассчитывается по формуле (2.3), дБА;

$\Delta L_{в/т}$ – поправка, учитывающая влияние турбулентности воздуха и ветра на процесс распространения звука, рассчитывается по формуле (2.4), дБА;

$L_{Апок}$ – снижение уровня шума, вследствие его поглощения поверхностью территории, рассчитывается по формуле (2.5), дБА;

$L_{Азел}$ – снижение уровня шума полосами зеленых насаждений рассчитывается по формуле (2.7), дБА;

$L_{Азкр}$ – снижение уровня шума экранирующими препятствиями (зданиями, насыпями, холмами, выемками, искусственными экранами и т.п.) на пути звуковых лучей от автомагистрали к расчетной точке рассчитывается по разделу 2, дБА;

$L_{А\ отр}$ – поправка, учитывающая отражение звука от ограждающих конструкций зданий (обычно принимают равной 3дБА), дБА;

$\Delta L_{A\alpha}$ – поправка, учитывающая снижение уровня шума вследствие ограничения угла (α) видимости улицы (дороги) из расчетной точки, рассчитывается по формуле (2.8), дБА.

2.3.2. Вспомогательные величины, входящие в вышеуказанные формулы, определяются следующим образом.

Снижение уровня шума источника ($L_{Арас}$) с расстоянием равно:

$$L_{Арас} = 10 \lg (R / R_0), \text{ дБА}, \qquad (2.2)$$

где R – расстояние от акустического центра автотранспортного потока до расчетной точки, м;

$R_0 = 7{,}5$ м – для автотранспортных потоков.

2.3.3. При расчетах снижения шума с расстоянием акустический центр автотранспортного потока принимается расположенным по оси ближайшей к расчетной точке полосы движения транспорта и на высоте 1м над уровнем проезжей части магистрали.

2.3.4. Снижение уровня шума, вследствие его затухания в воздухе ($L_{Авоз}$), при выполнении акустических расчетов, связанных с санитарно-гигиенической оценкой зашумленности территории транспортными источниками, может быть рассчитано по формуле, в которой в скрытом виде учтены усредненные зависимости коэффициента поглощения звука от температуры и влажности

воздуха, полученные на основании статистической оценки большого объема экспериментальных данных [3]:

$L_{Авоз} = 0$, дБА, для f=63 Гц,

$L_{Авоз} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot f$, дБА, для f = 125-8000 Гц, (2.3)

где f – среднегеометрическая частота октавной полосы в нормируемом диапазоне среднегеометрических частот от 63 до 8000 Гц.

2.3.5. Поправка ($\Delta L_{в/т}$), учитывающая влияние турбулентности воздуха и ветра на процесс распространения звука, может быть вычислена по формуле

$\Delta L_{в/т} = 3/[1,6+10^5(1/R)^2]$, дБА, (2.4)

где R – расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки. Эта формула выведена при усреднении по различным температурным условиям и в предположении, что частота всех направлений ветра равновероятна.

2.3.6. В случае покрытия поверхности территории травой (газоны) или снегом или наличия рыхлого грунта следует дополнительно учитывать поглощение звука поверхностью территории ($L_{Апок}$) с помощью следующих формул:

$$\Delta L_{пок} = 6lg\left[\frac{\delta^2}{(1+0,01\delta^2}\right], \qquad (2.5)$$

где

$$\delta = \frac{1,4d \cdot 10^{-(0,3H_{ш}+1)}}{H_{р.т}} \qquad (2.6)$$

d – расчетное расстояние, равное d=1,4·R,м;

$H_{ш}$ и $H_{р.т}$ – высоты источника шума и расчетной точки над уровнем территории, м.

Если при расчете по формуле (2.6) δ оказывается меньше единицы, то принимают $\Delta L_{пок.} = 0$.

В случае акустически жесткой поверхности (асфальт, бетон, плотный грунт, вода) $\Delta L_{пок.}$ во всех случаях равно нулю.

2.3.7. При посадке деревьев с плотным примыканием крон и сплошным заполнением подкронового пространства кустарником, т.е. при устройстве так называемой шумозащитной полосы зеленых

насаждений, обеспечиваемое ею снижение шума можно рассчитать по формуле

$$\Delta L_{зел} = \alpha_{зел} B, \qquad (2.7)$$

где $\alpha_{зел}$ – постоянная затухания звука в зеленых насаждениях,

B – ширина шумозащитной полосы зеленых насаждений, м.

При отсутствии точных данных принимают среднюю величину $\alpha_{зел.} = 0{,}08$ дБ/м.

Эта формула справедлива при ширине полосы не более 100 м. При большей ширине полосы увеличение $\Delta L_{зел}$ значительно замедляется и затруднительно для прогнозирования.

При обычной посадке зеленых насаждений их шумозащитный эффект выражен слабо и практически может не учитываться. Посадка хвойных пород деревьев эффективно снижает шум в течение всего года, посадка лиственных пород – только в летний период.

2.3.8. Поправка, учитывающая ограничение угла видимости магистрали из расчетной точки, рассчитывается по формуле

$$\Delta L_{A\alpha} = 10 \lg \frac{\alpha}{180}, \text{ дБА.} \qquad (2.8)$$

2.3.9. Снижение уровня шума ($L_{Аэкр}$)экранирующими препятствиями на пути звуковых лучей от источника шума к расчетной точке рассчитывается с учетом типа экрана.

2.3.10. При воздействии на расчетную точку на территории нескольких источников внешнего шума вначале определяют шумовое воздействие каждого отдельного источника по формуле (1), а затем производят энергетическое суммирование их шумовых воздействий:

$$L^{терр}_{А\,р.т,сум} = 10 \lg \sum_{i=1}^{n} 10^{0{,}1 \cdot L^{терр}_{Арт\,i}}, \qquad (2.9)$$

где i – номер отдельного источника внешнего шума,

$L^{терр}_{Арт,i}$ – уровень шума, создаваемый i-м источником шума, дБА;

n – общее число воздействующих источников шума.

2.3.11. Ожидаемый уровень звука в расчетных точках внутри помещения может быть определен по формуле

$$L_{A\,р\,т}^{пом} = L_{A\,р.т\,сум}^{терр} - \Delta L_{Аок}\,, \qquad (2.10)$$

где $L_{A\,р\,т,\,сум}^{терр}$ – суммарный уровень звука от всех внешних источников в 2-х м снаружи ограждений (окон) помещения;

$\Delta L_{Аок}$ – снижение шума конструкцией окна.

Обычно при расчетах в качестве $\Delta L_{Аок}$ принимают снижение шума окном при открытой форточке (узкой створке, фрамуге), как это требуется санитарными нормами [2] из условий вентиляции жилых помещений.

Согласно [3] $\Delta L_{Аок}$ = 10 дБА. Однако исследования показали, что фактически для меблированных жилых комнат и рабочих кабинетов $\Delta L_{Аок}$ = 15 дБА. В случае применения в зданиях шумозащитных окон, снабженных вентиляционными устройствами с повышенной звукоизоляцией, $\Delta L_{Аок}$ может составлять до 30-40 дБА, что позволяет во многих случаях обеспечивать нормативный шумовой режим в помещении даже при достаточно высоких уровнях шума.

2.3.12. Требуемое снижение уровней звука автотранспортного потока ($\Delta L_{А\,тр}$)для расчетных точек на селитебной территории равно:

$$\Delta L_{А\,тр} = L_{А\,р\,т}^{терр} - L_{А\,доп\,терр}\,, \text{ дБА}, \qquad (2.11)$$

а для расчетных точек в помещениях зданий равно:

$$\Delta L_{А\,тр} = L_{А\,р\,т}^{пом} - L_{А\,доп\,пом}\,, \text{ дБА}. \qquad (2.12)$$

Это требуемое снижение ($\Delta L_{А\,тр}$) шума автотранспортного потока можно обеспечить с помощью сооружения придорожного шумозащитного экрана, акустическая эффективность которого ($\Delta L_{А\,тр\,экр}$) должна быть не ниже чем $\Delta L_{А\,тр}$

3. Определение требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения

3.1. Одним из наиболее эффективных строительно-акустических средств защиты от транспортного шума селитебной

территории и застройки является сооружение придорожных шумозащитных экранов.

3.2. Основным оценочным параметром экрана является его акустическая эффективность, на которую оказывают влияние многие факторы, характеризующие как сам экран, так и источник шума, и параметры окружающей среды.

Особую роль при этом играют факторы, связанные со звукопоглощением в среде. Механизмы этого поглощения могут быть различными, связанными с поглощением звука атмосферой, влиянием ветра, влажности воздуха, температурных градиентов, турбулентностей, зеленых насаждений и т.п.

3.3. Факторный анализ условий распространения шума автотранспортных потоков в окружающей среде при наличии экранов и с учетом звукопоглощения характеризует рассматриваемый сложный процесс во взаимосвязи с физическими явлениями, к числу которых в первую очередь следует отнести: расхождение звуковой энергии или дивергенцию, интерференцию, дифракцию, поглощение звука элементами внешней среды и др. Все эти явления оказывают существенное влияние на звуковое поле на селитебной территории и в застройке и должны учитываться при его расчете.

Картина значительно усложняется, когда на пути звуковых лучей от транспортной магистрали до расчетной точки имеются экранирующие сооружения. В качестве таких сооружений могут выступать холмы, насыпи, овраги, выемки, здания, искусственные стенки и т.п., за которыми образуется акустическая тень. Теоретически уровень звука в акустической тени должен быть значительно ниже уровня шума источника (на величину звукоизоляции экранирующей конструкции). Однако в зоне звуковой тени шум от магистрали, экранируемой экраном, исключается не полностью.

Проникание звуковой энергии за экран зависит от соотношения между размером препятствия и длиной волны. Чем больше длина звуковой волны (λ), тем меньше при данном размере препятствия область тени.

3.4. Проникание звука за экран обусловлено дифракцией звука на верхней и боковых (при не очень длинных экранах) кромках экрана. Строгий расчет дифракции звука на экране в общем виде представляет очень сложную задачу, разрешимую лишь для отдельных частных случаев. Одно из таких частных решений было получено Зоммерфельдом и Макдональдом [1] применительно к полубесконечному экрану:

$$\Delta L = -20\lg\left|\frac{\Phi_1(\theta_o)}{H_o}\right| - 20\lg\left|1+\frac{\Phi_2(-\theta_o)}{\Phi_1(\theta_o)}\right|, \qquad (3.1)$$

где

$$\Phi_1(\theta_o) = jk\int_{-\tau R}^{\infty}\frac{H_1^{(1)}(\tau^2+kR)}{\sqrt{r^2+2kR}}d\tau;$$

$$\Phi_2(-\theta_o) = jk\int_{-\tau R'}^{\infty}\frac{H_1^{(1)}(\tau^2+kR')}{\sqrt{\tau^2+2kR'}}d\tau;$$

$$\tau R = \sqrt{k(L-R)}, \quad \text{при} \quad \cos\frac{\theta-\theta_o}{2} > 0,$$

и $\tau R = -\sqrt{k(L-R)}$ – в остальных случаях;

$$\tau R' = \sqrt{k(L-R')}, \quad \text{при} \quad \cos\frac{\theta+\theta_o}{2} > 0,$$

и $\tau R' = -\sqrt{k(L-R')}$ – в остальных случаях;

$$R = \sqrt{L^2 - 2rr_o\cos(\theta-\theta_o)};$$

$$R' = \sqrt{L^2 - 2rr_o\cos(\theta+\theta_o)};$$

$$L = \sqrt{(r+r_o)^2 + (z-z_o)^2};$$

$H_1^{(1)}$ – функция Ганкеля первого рода первого порядка;
r_o, θ_o, z – цилиндрические координаты точечного источника шума;
r, θ, z – цилиндрические координаты расчетной точки.

Несколько более точные результаты, в том числе и для линейных источников, могут быть получены с помощью теории дифракции Френкеля-Кирхгофа [2]

$$\Delta L_{экр} = -\,10 \lg [DF]^2, \qquad (3.2)$$

где

$$[DF] = -\frac{j}{2}\int_{U_1}^{U_2}\exp(j\frac{\pi}{2}u^2)du \cdot x \int_{v_1}^{v_2}\exp(j\frac{\pi}{2}v^2)dv =$$

$$= -\frac{j}{2}\{c(u_2) - c(u_1) + j[s(u_2) - s(u_1)]\} \cdot x\{c(v_2) - \qquad (3.3)$$

$$- c(v_1) + j[s(v_2) - s(v_1)]\},$$

где $c(u_1), c(u_2), s(v_1), s(v_2)$ – интегралы Френеля.

Впоследствии Маекавой [3], на основании обобщения многочисленных экспериментальных данных, была разработана более удобная для практического применения формула, дающая небольшую погрешность:

$$\Delta L_{экр.} = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi|N|}}{th\sqrt{2\pi|N|}} + 5, \qquad (3.4)$$

где N – число Френеля.

Сравнение результатов расчетов по (3.4) с экспериментальными данными показало, что погрешность не превышает 3 дБ, что является достаточно хорошей точностью при акустических расчетах.

3.5. Для повышения точности расчетов в математическую модель экранирующего эффекта (3.4) должны быть внесены некоторые поправки в зависимости от типа экрана.

При экране в виде вертикальной стенки

$$N = \frac{2\delta}{\lambda}, \quad \delta = а + в - с, \qquad (3.5)$$

где δ – разность хода звуковых лучей через кромку экрана и через сам экран непосредственно,

$$\alpha = \sqrt{r_1^2 + (H_{экр} - H_{и\,ш})^2}; \quad (3.6)$$

$$в = \sqrt{r_2^2 + (H_{экр} - H_{р\,т})^2}; \quad (3.7)$$

$$с = \sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (H_{экр} - н_{р\,т})^2}; \quad (3.8)$$

α – кратчайшее расстояние между акустическим центром источника шума и верхней кромкой экрана;

в – то же, но для расчетной точки за экраном·

с – расстояние между акустическим центром источника шума и расчетной точкой.

Найденное по (3.5) значение N подставляется в формулу (3.4).

3.6. При расчете акустической эффективности экрана-здания его дворовый фасад рассматривают как экран-стенку (расчеты по формулам (3.4)-(3.8), подставляя вместо r_1 (r_1+Δw), Δw – ширина здания). К найденной величине добавляют поправку (К), учитывающую дифракцию звука на верхних и боковых кромках экрана. Величина этой поправки определяется по графикам из [4].

В случае экрана-насыпи или экрана-выемки необходимо учесть дополнительно влияние DL склонов на снижение уровней звука, которое определяется по табл. 3.1 в зависимости от угла (θ) между склоном и горизонтальной площадкой насыпи (выемки).

Таблица 3.1

Поправка на влияние крутизны склонов насыпи (выемки) на снижение уровней шума

Внешний угол θ, градусы	210	225	240	255
Поправка DL, дБА	6	5	3	1

3.7. Математическая модель экранирующего эффекта насыпи описывается формулой

$$\Delta L_{экр\,нас} = \Delta L_{ст} + K\,(\lg \Delta w + 0{,}7) - DL, \quad (3.9)$$

для выемки:

$$\Delta L_{экр\,в} = \Delta L_{ст} - DL, \text{ дБА.} \quad (3.10)$$

3.8. Автотранспортные магистрали можно рассматривать как линейный источник шума, т.е. в виде равномерно излучающей прямой линии большой длины. Такой источник излучает цилиндрические волны, в которых уменьшение уровня звука при удвоении расстояния составляет всего лишь 3 дБА и определяется уравнением

$$L = L_0 - 10 \lg (r/r_0), \quad (3.11)$$

где r_0=7,5 м.

В дальнем свободном звуковом поле, создаваемом транспортным потоком в безграничной однородной атмосфере без поглощения, звук распространяется по прямым линиям-лучам, перпендикулярным фронту волны. С увеличением расстояния от источника поверхность фронта также увеличивается, вследствие чего интенсивность звука падает.

Однако в реальной атмосфере интенсивность звука снижается в большей степени, чем величина, зависящая только от расстояния до транспортной магистрали. Дополнительное снижение интенсивности вызвано поглощением звука, обусловленным различными причинами.

Одна из них связана с поглощением звука в спокойной атмосфере за счет обмена импульсами между молекулами воздуха в результате их теплового движения (классическое поглощение, происходящее вследствие вязкости и теплопроводности воздуха), а также за счет перераспределения энергии между молекулами с различными степенями свободы (молекулярное поглощение).

Последний фактор играет основную роль в снижении интенсивности звука. Классическим поглощением в большинстве случаев можно пренебречь. Величина молекулярного поглощения звука зависит от частоты звука, а также от температуры и влажности воздуха.

3.9. Реальная атмосфера находится в непрерывном движении. Плотность, температура, давление и влажность атмосферы непрерывно изменяются как во времени, так и в пространстве. Поэтому звуковые волны, распространяясь вдоль земной поверхности и преодолевая преграду – экран, претерпевают воздействия этих изменений на пути распространения, а также частично

поглощаются и отражаются земной поверхностью. Это приводит к появлению существенной зависимости уровня звука за экраном от перечисленных факторов, т.е. к зависимости акустической эффективности экрана от звукопоглощения и других факторов.

Измерения плотности и температуры приводят к изменению волнового сопротивления атмосферы и скорости звука в ней. Существенную роль играет то обстоятельство, что в определенный момент времени температура в разных точках атмосферы непостоянна и возникает температурный градиент, который в общем случае является функцией координат. Появление градиента температуры обусловлено теплообменом между поверхностью земли и атмосферой.

Существо происходящих явлений проще всего понять в случае слоистой атмосферы, в которой установился постоянный (положительный или отрицательный) температурный градиент, и, следовательно, при возрастании высоты температура уменьшается или увеличивается на постоянную величину.

3.10. Любой звуковой луч, который исходит из источника шума (транспортного потока), испытывает преломление – рефракцию (точно так же, как световой луч в оптически неоднородных средах), распространяется криволинейно и в отличие от случая однородной атмосферы уже не представляет собой прямую линию.

В силу этого могут создаваться условия, приводящие к образованию «зоны молчания» – зоны звуковой тени. В такую теневую зону не попадает ни один из прямых звуковых лучей, исходящих от источника звука.

В дневное время температура обычно уменьшается с высотой, и происходит рефракция звука вверх; в тихую ночную погоду в приземном слое атмосферы нередко наблюдается инверсия температуры, и звуковые лучи прижимаются к земле.

3.11. Градиент звука подвержен также влиянию ветра. Появление градиента ветра чаще всего обусловливается трением между поверхностью земли и движущимся потоком воздуха. При распространении звука скорость ветра добавляется к скорости звуковых волн в неподвижной среде, и всякое изменение скорости ветра вызывает изменение скорости звука.

Следовательно, скорость распространения звука в атмосфере равна векторной сумме скорости звука в неподвижной атмосфере и скорости ветра. Звуковые лучи, распространяющиеся против ветра, загибаются кверху, что служит причиной появления зоны молчания, в которую не может проникнуть прямой звук. При распространении звука в направлении ветра зона молчания отсутствует, поскольку звуковые лучи прижимаются к земле.

Днем с наветренной стороны от источника звука влияние ветра и температуры складываются и вызывают искривление лучей кверху. С подветренной стороны эти влияния вычитаются, так что искривление лучей происходит либо книзу, либо кверху, в зависимости от того, какая из величин преобладает. Ночью с подветренной стороны оба градиента складываются и вызывают искривление книзу, в то время как с наветренной стороны оба эффекта вычитаются.

Отсюда следует, что образование зоны звуковой тени, которое сопровождается наиболее сильным отклонением от обычного распространения звука, можно наблюдать преимущественно днем с наветренной стороны от источника звука. Ночью же теневая зона образуется лишь в очень редких случаях (главным образом с подветренной стороны). Последнее обстоятельство является одной из причин хорошей слышимости ночью.

3.12. Большое влияние на распространение звука оказывает турбулентность атмосферы (порывы ветра и т.п.). Вызываемые ею изменения скорости распространения звука приводят к кратковременным флуктуациям уровня звукового давления, которые могут составлять до 20 дБА при сильном порывистом ветре.

3.13. Во многих случаях при распространении автотранспортного шума источник звука и точка наблюдения находятся на высоте всего лишь нескольких метров или даже дециметров над поверхностью земли. Следовательно, звук распространяется параллельно земле или отражается от нее под небольшим углом. Поэтому можно предположить, что акустические свойства земной поверхности оказывают влияние на уровень звука в месте приема и что, в частности, грунт, сильно поглощающий звук, вызывает большее падение уровня звука, чем это имело бы место только из-за геометрического расхождения звуковых волн.

3.14. В некоторых случаях затухание, обусловленное поглощающим действием поверхности земли, играет заметную роль наряду с другими факторами. При этом влиянием низкого растительного покрова земли (травы, кустарника) практически можно пренебречь. Однако при наличии более высокого растительного покрова, например, в случае зеленых насаждений, наблюдается значительное затухание.

3.15. Эффект снижения шума в зеленых насаждениях зависит от характера посадок, пород деревьев и кустарников, времени года, а также от спектрального состава шума. Рядовые посадки деревьев на улицах и бульварах городов с открытым подкронным пространством оказывают незначительное влияние на улучшение шумового режима. Звук, особенно низкочастотный, беспрепятственно проходит сквозь такие посадки, и лишь высокочастотные составляющие шума частично рассеиваются и поглощаются. Для обеспечения существенного снижения шума посадки зеленых насаждений должны состоять из деревьев с густыми кронами, смыкающимися между собой, а пространство под кронами должно быть заполнено кустарником так, чтобы не было просветов.

3.16. Учет поглощения звука в атмосфере и его рассеивания на атмосферных неоднородностях

Как было отмечено выше, при распространении шума за экранами происходит дополнительное снижение его уровней за счет вязкости и теплопроводности воздуха (классическое поглощение, обусловленное обменом импульсами между движущимися молекулами) и за счет перераспределения энергии между различными степенями свободы молекул (молекулярное поглощение). Эти виды поглощения звука зависят от частоты, температуры и влажности воздуха. В общем случае эта зависимость носит сложный характер, который не поддается описанию аналитической формулой. Поэтому для более точных расчетов следует пользоваться табличными значениями коэффициентов поглощения звука (β) в атмосфере, установленными экспериментально (табл. 3.2)

Таблица 3.2

Коэффициент поглощения звука в воздухе $\beta \cdot 10^{-2}$ дБ/м

Средне-геом. частоты октавных полос, Гц	Температура воздуха, °С								
	0^0			10^0			20^0		
	Относительная влажность, %								
	50	70	90	50	70	90	50	70	90
63	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
125	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
250	0,08	0,07	0,07	0,09	0,09	0,09	0,11	0,11	0,11
500	0,21	0,16	0,14	0,17	0,17	0,17	0,21	0,21	0,21
1000	0,61	0,42	0,33	0,39	0,35	0,35	0,42	0,42	0,42
2000	1,80	1,20	0,93	1,40	0,78	0,91	0,85	0,85	0,85
4000	4,80	3,60	2,80	3,10	2,10	1,70	2,00	1,70	1,70
8000	12,00	9,60	7,70	8,60	6,10	4,60	5,30	3,90	3,40

Как видно из таблицы, с ростом частоты, при постоянных температуре и влажности, коэффициент поглощения увеличивается, т.е. более высокие частоты затухают сильнее. При фиксированной частоте зависимость коэффициента поглощения от температуры и влажности воздуха носит нелинейный характер, достигая минимума при некоторых их сочетаниях, различных для разных частот.

При выполнении ориентировочных акустических расчетов, связанных с санитарно-гигиенической оценкой зашумленности территории транспортными и промышленными источниками, можно пользоваться упрощенной аналитической зависимостью коэффициента звука в воздухе [5]

$$\beta = 0{,}375 \cdot \lg (f/63), \qquad (3.12)$$

где f – среднегеометрическая частота октавной полосы в нормируемом диапазоне от 63 до 8000 Гц.

Так как формула (3.12) получена на основании статистического усреднения эмпирических данных (табл. 3.2), то в ней в скрытом виде учтены усредненные зависимости коэффициента поглощения от температуры и влажности воздуха.

При распространении звука на большие расстояния существенную роль играет затухание, связанное с турбулентностью воздуха. Оно определяется рассеянием звука на неоднородностях атмосферы, обусловленных порывами ветра, потоками воздуха в вертикальном направлении из-за разности температур земли и воздуха, а также разности давлений по высоте. Ввиду случайного характера этих флюктуаций нельзя установить единую аналитическую формулу, охватывающую все случаи.

Полагая частоту фиксированной, можно найти, что затухание из-за турбулентности воздуха изменяется с расстоянием (r) от источника по законам:

$$\beta_{тур} = 0{,}00295 \cdot f \cdot r, \quad \text{при } 100 \le f \le 1600 \text{ Гц}, \qquad (3.13)$$

$$\beta_{тур} = 0{,}0105 \cdot f \cdot r, \quad \text{при } 1600 < f \le 4000 \text{ Гц}, \qquad (3.14)$$

где r выражено в км.

Из анализа этих формул и на основании экспериментов установлено, что турбулентное затухание звука в атмосфере на низких частотах слабо зависит от расстояния. На средних и высоких частотах оно наиболее сильно меняется для расстояний до 2 км, после чего дальнейший его прирост сильно замедляется. Для расстояний менее 500 м турбулентное затухание может играть существенную роль, а при расстояниях свыше 4 км его можно уже не учитывать, так как при таких расстояниях шум практически спадает до фоновых уровней.

3.1б. Учет влияния градиентов температуры и скорости ветра

На распространение шума транспортных потоков при наличии придорожных экранов существенное влияние может оказывать ветер, так как при достаточно большой скорости ветра и на достаточно больших расстояниях проявляются особые эффекты, связанные с искривлением хода звуковых лучей.

В однородной атмосфере без ветра звуковые лучи представляют собой прямые линии, проведенные из центра источника шума, скорость звука во всех направлениях одинакова. При наличии ветра его скорость геометрически складывается со скоростью звука в направлении каждого луча. Поэтому при распространении звука в направлении ветра суммарная скорость увеличивается, а против направления ветра уменьшается. Скорость ветра в нижних слоях

атмосферы уменьшается за счет трения воздушного потока о поверхность земли, влияния растительности и застройки. С увеличением высоты движение воздуха становится беспрепятственным, и скорость ветра увеличивается. В силу этого, с увеличением высоты скорость звука увеличивается по направлению ветра, и звуковые лучи искривляются по направлению к земле. Это приводит к тому, что на больших расстояниях от источника шума наблюдаются повышенные уровни шума, а акустическая эффективность экрана уменьшается по сравнению со случаем спокойной атмосферы.

При распространении звука навстречу ветру (против ветра) скорость звука с высотой уменьшается, и звуковые лучи искривляются кверху. В силу этого, начиная с некоторого расстояния, звуковые лучи не достигают поверхности земли и образуется зона звуковой тени, или зона молчания, которая отсутствовала бы при спокойной атмосфере.

Учет влияния градиента ветра на распространение звуковых волн целесообразно проводить вместе с учетом влияния градиента температуры атмосферы.

В каждый конкретный момент времени температура воздуха в различных точках даже одной и той же местности неодинакова. Это связано в первую очередь с неравномерным теплообменом поверхности земли и атмосферы, зависящим от характеристик поверхностного слоя земли и неравномерности прогрева атмосферы по высоте. Разница в температурах различных участков атмосферы приводит к появлению градиента температуры, а следовательно, к изменению скорости звука и к искривлению звуковых лучей. Так как температура является скалярной величиной, то она воздействует на распространение звука равномерно во все стороны.

При неустойчивых состояниях погоды земная поверхность обычно имеет большую температуру, и вследствие этого температура воздуха и скорость звука в нем с высотой уменьшаются. При этом звуковые лучи отклоняются по направлению от земли и на некотором расстоянии от источника возникает зона молчания.

При устойчивых состояниях погоды часто наблюдается инверсия температуры (положительный градиент температуры), т.е.

возрастание температуры воздуха с высотой. Это вызывает искривление звуковых лучей по направлению к земле, что создает благоприятные условия для распространения звука на большие расстояния. Инверсия температуры воздуха обычно наблюдается в ночное время.

В отдельных случаях возможно такое сочетание погодных условий, что на некоторой высоте (обычно вблизи поверхности земли) образуется так называемый воздушный волновой канал – слои воздуха с пониженной скоростью звука, окруженные со всех сторон слоями воздуха с повышенной скоростью звука. Звуковые лучи от транспортных источников шума, попадающие в волновой канал, испытывают достаточно сильное отражение от граничных слоев канала, в результате чего звук слабо затухает и способен распространяться на сверхдальние расстояния.

Неустойчивые состояния погоды, приводящие к неустойчивой слоистости воздуха, обычно наблюдаются при солнечной погоде днем и в летний период года.

Устойчивые состояния погоды (устойчивая слоистость воздуха) наблюдаются чаще зимой вечером и ночью при ясной безветренной погоде.

При равновероятной частоте всех направлений ветра и при усреднении по различным температурным условиям поправка к расчетным уровням звука за экраном может быть вычислена по формуле

$$\Delta L_{в/т} = 3/[1{,}6+10^5(r_o/r)^2], \text{дБ}, \qquad (3.15)$$

где r – расстояние от акустического центра автотранспортного потока до расчетной точки, м;

r_o = 1 м – опорное расстояние.

Расстояние от транспортной магистрали до границы зоны молчания (звуковой тени) $r_{тен.}$ рассчитывается по формуле

$$r_{тен} = \left(\frac{2}{\frac{1}{c_o} \cdot \frac{\partial c}{\partial h} cos\varphi \pm \frac{1}{T_o} \cdot \frac{\partial T}{\partial h}} \right)^{1/2} \cdot \left(\sqrt{H_{и.ш}} + \sqrt{H_{р.т}} \right) \qquad (3.16)$$

где c_o и T_o – скорость звука и абсолютная температура воздуха непосредственно около поверхности земли,

$\frac{\partial C}{\partial h}, \frac{\partial T}{\partial h}$ – градиенты скорости звука и температуры воздуха;

$H_{и.ш.}, H_{р.т.}$ – высоты акустического центра транспортного потока и расчетной точки над уровнем поверхности земли.

Знак «+» в формуле (3.16) берется при совпадающем действии градиентов, знак «–» при их противоположном действии.

3.17. Учет влияния поглощения и отражения звука покрытием территории

Так как автотранспортный поток и точка наблюдения находятся обычно на небольшой высоте над поверхностью территории, то звук распространяется, в основном, в приземном слое. При этом в точку наблюдения приходят три составляющие: прямой звук; звук отраженный от поверхности земли и так называемая «земная» волна. Математическая модель этого процесса описывается уравнением

$$\frac{P}{P_o} = e^{jk_в r_{пр}} / k_в r_{пр.} + R_p \left(e^{jk_в r_{пр}} / k_в r_{пр.}\right) + \left(1 - R_p\right)\left(e^{jk_в r_{отр}} / k_в r_{отр}\right) F, \quad (3.17)$$

где P – звуковое давление в точке наблюдения;

$P_o = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – опорное звуковое давление;

$k_в$ – волновое число для воздуха;

$r_{пр}, r_{отр}$ – длины путей прямого и отраженного звука;

R_p – коэффициент отражения волны от поверхности земли;

F – комплексная функция, учитывающая взаимодействие фронта волны с поверхностью, обладающей конечным импедансом.

Величины R_p и F в свою очередь рассчитываются по формулам

$$R_p = \frac{\sin\theta - \beta\left(1 - k_в^2 / k_в^2 \cos^2\theta\right)^{1/2}}{\sin\theta + \beta\left(1 - k_в^2 / k_в^2 \cos^2\theta\right)^{1/2}}, \quad (3.18)$$

где θ – угол отражения звука;

$\beta = \frac{Z_в}{Z_в}$ – отношение акустических импедансов воздуха и поверхности земли;

$k_в$ – волновое число поверхности земли.

$$F = 1 + 2jw^{1/2}e^{-w}\int_{-jw^{-1/2}}^{\infty} e^{-w^2}dw, \qquad (3.19)$$

где $$w = \frac{jk_{в.}r_{в.}}{2}\left(\sin\theta + \frac{Z_в}{Z_{в.}}\right)^2.$$

Как видно из этих зависимостей, амплитуда «земной» волны ча небольших расстояниях от источника (w<<1) остается практически постоянной, т.е. эта волна не затухает. На больших расстояниях (w>>1) затухание «земной» волны резко увеличивается и составляет 6 дБ на каждое удвоение расстояния.

В физическом смысле «земная» волна представляет собой поток звуковой энергии, распространяющейся в воздухе вблизи поверхности земли со скоростью, меньшей скорости звука в свободном пространстве на величину, зависящую от импеданса поверхности земли и спадающую по экспоненте с высотой. На расстояниях свыше 500 м «земную» волну можно уже не учитывать в силу ее малости.

На небольших расстояниях (до 100 м) звуковое поле источника формируют все три волны, на расстояниях от 100 до 500 м и небольших высотах – в основном прямой и отраженный звук. На достаточно больших высотах ($h >> H_{и.ш}$; $h >> H_{р.т}$) влияние отраженной волны значительно уменьшается и определяющим является лишь прямой звук.

В случае покрытия поверхности территории травой (газоны) или снегом или наличия рыхлого грунта следует дополнительно учитывать поглощение звука с помощью следующей математической модели:

$$\Delta L_{пок} = 61g\left[\frac{\delta^2}{(1+0{,}01\delta)^2}\right], \qquad (3.20)$$

где $$\delta = \frac{1{,}4d\cdot 10^{-(0{,}3H_{и.ш}+1)}}{H_{р.т}}, \qquad (3.21)$$

d – расстояние по перпендикуляру от расчетной точки до автотранспортного потока,

$H_{и.ш.}$ и $H_{р.т}$ – высоты акустического центра автотранспортного потока и расчетной точки над уровнем территории.

Если при расчете по формуле (3.21) δ оказывается меньше единицы, то принимают $\Delta L_{пок.} = 0$

В случае акустически жесткой поверхности (асфальт, бетон, плотный грунт, вода) $\Delta L_{пок}$ во всех случаях равно нулю.

3.19. Учет влияния зеленых насаждений.

Определенное влияние на распространение шума автотранспортных потоков за экраном оказывают зеленые насаждения (посадки деревьев, кустарников). Обычные городские посадки из отдельно стоящих деревьев шумозащитным эффектом не обладают. Но таким эффектом обладают шумозащитные полосы зеленых насаждений. Расстояние между деревьями в полосе должно быть не более 4 м, высота деревьев не менее 5-8 м, кустарника не менее 2 м. Посадка деревьев может быть рядовая или шахматная, причем все подкроновое пространство должно быть полностью заполнено кустарником без просветов. На каждом участке территории может быть устроена одна или несколько таких полос, разделенных воздушными промежутками.

В общем случае их влияние зависит от ширины полосы зеленых насаждений, ее плотности, дендрологического состава и др. факторов. При расчетах целесообразно пользоваться постоянной затухания звука в зеленых насаждениях, показывающей величину затухания на единицу ширины зеленой полосы.

Согласно экспериментальным данным [4], постоянная затухания звука лежит в пределах от 0,02 до 0,15 дБ/м и лишь при особо густых посадках большой ширины может доходить до 0,35 дБ/м. Исследования показали, что дополнительная, по сравнению со случаем открытой территории, акустическая эффективность плотных полос зеленых насаждений при ширине полосы 20-40 м, высоте деревьев 5-12 м составляет 2-5 дБ, при ширине полосы 100-140 м она доходит до 8-9 дБ. Дальнейший прирост снижения шума не пропорционален ширине полосы. Это объясняется тем, что поглощающий эффект зеленых насаждений наиболее выражен на

частотах свыше 1000 Гц, а уровни транспортных потоков на этих частотах значительно меньше, чем на низких частотах. Затухание звука на этих частотах обусловлено в основном рассеянием и поглощением звука листьями, ветками и стволами деревьев. В диапазоне 200-400 Гц происходит некоторое снижение уровней звука вследствие интерференции прямого и отраженного звука.

При посадке деревьев с плотным примыканием крон и заполнением подкронового пространства кустарником снижение шума зелеными насаждениями можно рассчитывать по формуле

$$\Delta L_{зел} = \alpha_{зел} B, \qquad (3.22)$$

где $\alpha_{зел}$ – постоянная затухания звука в зеленых насаждениях. При отсутствии точных данных принимают среднюю величину $\alpha_{зел} = 0{,}08$ дБ/м. Эта формула справедлива при ширине полосы не более 100 м. При большей ширине полосы дальнейшее увеличение $\Delta L_{зел}$ значительно замедляется и носит неопределенный характер.

При проектировании шумозащитной полосы зеленых насаждений следует учитывать быстроту роста, высоту, долговечность, форму и плотность кроны, устойчивость по отношению к выхлопным газам. Применяемые древесно-кустарниковые растения по размерам делятся на:

• деревья первой величины (высота свыше 20 м, диаметр кроны 10-15 м). К ним относятся: береза пушистая, дуб, клен остролистный, лиственница сибирская, пихта сибирская, ель, сосна, тополь, осина, липа крупнолистная, ива серебристая;

• деревья второй величины (высота 10-20 м, диаметр кроны 5-8 м). Это клен полевой, ольха серая, ива ломкая, каштан конский;

• деревья третьей величины (высота 5-10 м, диаметр кроны 3-5 м). Это клен татарский, рябина обыкновенная;

• деревья четвертой величины (высота 2-5 м, диаметр кроны 1-3 м). К этой группе относятся рябина лучнистая, боярышник обыкновенный, черемуха виргинская, туя западная.

Из кустарников применяют крупные кустарники (высота 4-9 м, диаметр 2-5 м) – акация желтая, бирючина, жимолость, сирень, калина, лох, бересклет, а также средние кустарники (высота 1-3 м, диаметр 2-5 м) – смородина золотистая, кизильник, чубушник, таволга.

Быстрорастущие породы деревьев (тополь, береза, ива и др.) менее долговечны, чем медленно растущие (дуб, липа, клен и др.).

Следует учитывать, что в холодное время года лиственные деревья сбрасывают листву и их шумозащитный эффект уменьшается до нуля. Посадки хвойных пород деревьев эффективно снижают шум в течение всего года. Поэтому целесообразно вводить в шумозащитные полосы хвойные породы деревьев. Однако следует учитывать, что в городских условиях они часто плохо растут и поэтому их применение ограничено.

При проектировании следует стремиться к тому, чтобы высота деревьев была на 1,5-2 м и более выше линии, соединяющей акустический центр транспортного потока с расчетной точкой на уровне середины окон последнего этажа защищаемого от шума здания.

В условиях сложившейся городской застройки шумозащитные полосы зеленых насаждений практически неприменимы. Однако при проектировании или реконструкции скоростных дорог, особенно в загородной зоне, такие посадки могут широко применяться. Почва в районе зеленой полосы должна быть покрыта густой травой. Это будет способствовать дополнительному поглощению звука в приземном слое.

При необходимости, организации проходов в полосах зеленых насаждений эти проходы должны проектироваться под острым углом к транспортной магистрали для уменьшения проникания шума в застройку.

При проектировании полос зеленых насаждений следует также учитывать, что они частично поглощают вредные выхлопные газы автомобилей и создают дополнительный психологический эффект приглушения шума.

3.20. Учет звукопоглощения экранов

Для экранов, предназначенных для установки на улицах или дорогах с двухсторонним расположением защищаемых от шума зданий, должны быть предусмотрены со стороны магистрали звукопоглощающие конструкции в виде резонирующих панелей, звукопоглощающих облицовок или заполнений.

Применение звукопоглощающих конструкций позволяет снизить уровни шума, отраженного от экранов, и добиться за счет этого, во-первых, общего снижения шума магистрали, и, во-вторых, значительно ослабить влияние на зашумленность застройки, расположенной напротив экрана на противоположной стороне магистрали, отражений звука от экрана. Звукопоглощающая обработка поверхностей экрана имеет особенно большое значение при параллельном расположении экранов на противоположных сторонах магистрали.

В настоящее время отсутствуют какие-либо способы расчета эффекта, даваемого звукопоглощающей облицовкой поверхности экрана. Из практики известно лишь, что этот эффект может достигать нескольких дБА.

Звукопоглощающие материалы, используемые для облицовок или заполнения экрана, должны обладать стабильными физико-механическими и акустическими показателями в течение всего периода эксплуатации, быть биостойкими и влагостойкими, не выделять в окружающую среду вредных веществ в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации для атмосферного воздуха.

Для увеличения эффективности звукопоглощающих облицовок они должны крепиться на жестком основании непосредственно на поверхности экрана. Для защиты звукопоглощающего материала от попадания влаги необходимо предусматривать защитное покрытие в виде пленки. Снаружи экраны со звукопоглощающей облицовкой должны защищаться перфорированными листами из алюминия, стали или пластика.

3.21. Методика определения требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения

Ожидаемый уровень звука ($L_{A\,р\,т.\,терр}$) в расчетной точке при наличии экрана и с учетом звукопоглощения рассчитывают по формуле

$$L_{A\,р\,т}^{терр} = L_{Аэкв} - L_{A\,рас} - L_{Авоз} - \Delta L_{в/т} - L_{A\,пок} - L_{A\,зел} - L_{A\,экр} - L_{A\,застр} + L_{Аотр} - \Delta L_{Аа}, \text{ дБА}, \qquad (3.23)$$

где $L_{Аэкв}$ – шумовая характеристика автотранспортного потока на магистрали, дБА;

$L_{Арас}$ – снижение уровня шума автотранспортного потока в зависимости от расстояния между ним и расчетной точкой, дБА;

$L_{Азоз}$ – снижение уровня шума вследствие его затухания в воздухе, дБА;

$\Delta L_{в/т}$ – поправка, учитывающая влияние турбулентности воздуха и ветра на процесс распространения звука, дБА;

$L_{Апок}$ – снижение уровня шума вследствие его поглощения поверхностью территории, дБА;

$L_{Азел}$ – снижение уровня шума полосами зеленых насаждений, дБА;

$L_{Аэкр}$ – снижение уровня шума экранирующими препятствиями (зданиями, насыпями, холмами, выемками, искусственными экранами и т.п.) на пути звуковых лучей от автомагистрали к расчетной точке, дБА;

$L_{Aα}$ – поправка, учитывающая снижение уровня шума вследствие ограничения угла (α) видимости улицы (дороги) из расчетной точки, дБА.

При расчете входящих в формулу величин следует использовать расчетные зависимости, приведенные ранее в пунктах 3.15. – 3.19.

Полученное значение ($L_{А\ р\ т\ терр}$) сравнивают с допустимым уровнем звука для данной расчетной точки ($L_{А\ доп}$). Разность между ними представляет собой требуемое снижение шума экраном ($\Delta L_{А\ тр}$):

$$\Delta L_{А\ тр} = L_{А\ р\ т\ терр} - L_{А\ доп}, \text{ дБА.} \qquad (3.24)$$

4. Выбор конструктивного исполнения шумозащитного экрана и технологические основы его проектирования

4.1. При проектировании новой и реконструкции существующей застройки на примагистральных территориях следует учитывать, что она будет подвергаться во многих случаях интенсивному воздействию транспортного шума, обусловленного

движением автотранспорта, троллейбусов, трамваев, поездов на участках железных дорог и на открытых линиях метрополитена.

Нередко это будет приводить к неблагоприятному шумовому режиму в застройке, не удовлетворяющему требованиям санитарных норм [2]. Это в свою очередь потребует применения шумозащитных средств.

Одним из наиболее акустически эффективных и экономически относительно недорогих средств снижения транспортного шума являются придорожные шумозащитные экраны, которые защищают от шума не только здания, но и расположенную за экранами дефицитную городскую территорию, позволяя тем самым использовать ее под строительство жилых и общественных зданий и объектов социально-бытового назначения.

В условиях стесненной городской застройки, высокой плотности улично-дорожной сети, дефицита свободных территорий наиболее целесообразно применение придорожных шумозащитных экранов в виде вертикальных стенок из сборного и монолитного железобетона, кирпича, металла, композита, дерева с биостойкой пропиткой, акрила, поликарбоната и др. материалов, устанавливаемых вплотную к поверхности территории между транспортной магистралью и защищаемыми от ее шума объектами.

Однако в ряде случаев, и особенно в загородных условиях, возможно применение и других видов экранов, таких как выемки, насыпи, грунтовые валы, холмы, террасы, элементы естественного рельефа местности. Акустический расчет этих видов экранов производится на основе условного представления их в виде эквивалентных вертикальных экранов-стенок. Поэтому далее целесообразно рассмотреть общую методику расчета и проектирования вертикальных экранов-стенок и лишь затем отличительные особенности, связанные непосредственно с видом экрана.

При проектировании экранов следует учитывать, что шум от транспортной магистрали может поступать в какую-либо точку пространства за экраном (расчетную точку) двумя основными путями: в виде звука, передаваемого непосредственно через тело экрана (прямой звук), и в виде звука, огибающего верхний край и боковые кромки экрана (дифрагированный звук).

Для предотвращения влияния прямого звука поверхностная плотность экрана (масса 1 м^2 конструкции экрана толщиной h) должна быть не ниже величины, приведенной в табл. 4.1, в зависимости от требуемого снижения шума экраном.

Таблица 4.1.

Требуемая минимальная поверхностная плотность конструкции экрана в зависимости от требуемого снижения уровня звука

Требуемое снижение уровня звука, дБА	5	10	14	16	18	20	22	24
Минимальная поверхностная плотность конструкции экрана, кг/м^2	14,5	17	18	19,5	22	24,5	32	39

4.2. При распространении транспортного шума в расчетную точку вторым путем звуковая энергия источника частично теряется при дифракции звука на верхнем крае и боковых кромках экрана (непосредственный экранирующий эффект), частично уменьшается за счет расширения фронта звуковой волны (снижение шума с расстоянием), частично затухает в воздухе (затухание в воздухе). В результате в расчетной точке за экраном наблюдается пониженный уровень шума.

4.3. Количественной мерой шумозащитного эффекта экрана является его акустическая эффективность, которая представляет собой разность между уровнями шума в расчетной точке до установки и после установки экрана при прочих равных условиях.

Акустическая эффективность экрана определяется только его геометрическими размерами и месторасположением. Поэтому она зависит от высоты и длины экрана, от расстояния между ним и магистралью, между ним и расчетной точкой, а также от высоты расчетной точки над поверхностью территории, но не зависит от шумовой характеристики транспортного потока.

В то же время уровень шума в расчетной точке за экраном зависит как от акустической эффективности экрана, так и от шумовой характеристики транспортного потока на магистрали.

4.4. При проектировании экрана следует также учитывать, что шумозащитный эффект экрана (акустическая эффективность $\Delta L_{A\ экр} > 0$) проявляется только в зоне акустической тени, расположенной за экраном (рис. 4.1).

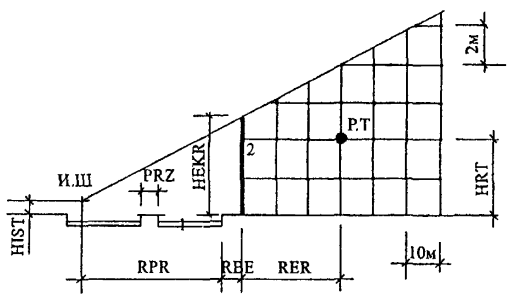


Рис. 4.1. Расчетная схема для определения экранирующего эффекта в расчетной точке (вертикальный разрез участка территории):
И.Ш. - источник шума; Р.Т. - расчетная точка;
1 - транспортая магистраль; 2 - экран; PRZ - ширина разделительной полосы; RPR - расстояние от оси самой дальней полосы (пути) движения транспорта до бордюра проезжей части; RBE - расстояние от бордюра проезжей части до экрана; RER - расстояние от экрана до расчетной точки; HIST - высота акустического центра транспортного потока; HEKR - высота экрана

Граница зоны акустической тени (на вертикальном разрезе участка селитебной территории – рис. 4.1) представляет собой прямую линию, соединяющую акустический центр источника шума, располагаемый на высоте 1 м над уровнем проезжей части (головки

рельефа) магистрали и по оси самой дальней полосы (пути) движения транспорта, с вершиной экрана и продолженную далее в область пространства за экраном.

Пространство под этой прямой представляет собой зону акустической тени. В область пространства над прямой транспортный шум проникает беспрепятственно, и шумозащитный эффект экрана здесь отсутствует.

В силу специфичности влияния длины экрана на его акустическую эффективность все экраны могут быть разделены на две группы: протяженные и ограниченной длины.

Протяженный экран – это экран такой длины, при которой боковые кромки экрана видны из расчетной точки под углом $\alpha > 168^0$ (рис. 4.2).

Экран ограниченной длины – это экран такой длины, при которой боковые кромки экрана виды из расчетной точки под углом $\alpha \leq 168^0$ (рис. 4.2).

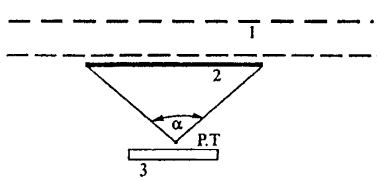


Рис. 4.2.Ситуационный план участка селитебной территории, защищаемой от транспортного шума экраном: 1 - транспортная магистраль; 2 - придорожный шумозащитный экран; 3 - защищаемое от шума здание; Р.Т. - расчетная точка (в 2 м от фасада)

4.5. Методика проектирования придорожного шумозащитного протяженного экрана

4.5.1. Проектирование придорожного шумозащитного экрана (определение его геометрических размеров, месторасположения,

акустической эффективности и конструкции) производится в следующем порядке.

На ситуационном плане участка селитебной территории отмечаются жилые и общественные здания, площадки отдыха около них, которые должны быть защищены от шума, и выявляются транспортные магистрали или улицы с регулярным движением транспорта, наиболее близко расположенные к этим зданиям и площадкам.

При этом могут встретиться две типичные ситуации:

• вблизи защищаемых от шума объектов проходит только одна транспортная магистраль (улица);

• вблизи защищаемых от шума объектов проходят две пересекающиеся магистрали (улицы); угол их пересечения принципиальной роли не играет.

Остальные возможные ситуации могут быть представлены в виде сочетания двух вышеуказанных ситуаций.

4.5.2. Дальнейший порядок проектирования экрана зависит от вида ситуации (при наличии только одной магистрали и при наличии двух пересекающихся магистралей).

Случай прохождения одной автотранспортной магистрали

При наличии только одной магистрали в первую очередь намечаются расчетные точки, для которых будет проводиться акустический расчет.

Расчетные точки выбираются на уровне середины окон первого и последнего этажей здания на расстоянии 2 м от его наружных ограждений, обращенных в сторону транспортной магистрали.

При этом одна расчетная точка выбирается около здания, наиболее близко расположенного к транспортной магистрали, а две другие расчетные точки – около противоположных углов здания, наиболее удаленных от магистрали, но находящихся в пределах прямой видимости. Примеры выбора расчетных точек при различной ориентации здания по отношению к магистрали приведены на рис. 4.3 а, б, в.

Для здания сложной формы расчетные точки выбираются по аналогичному принципу (рис. 4.3 г).

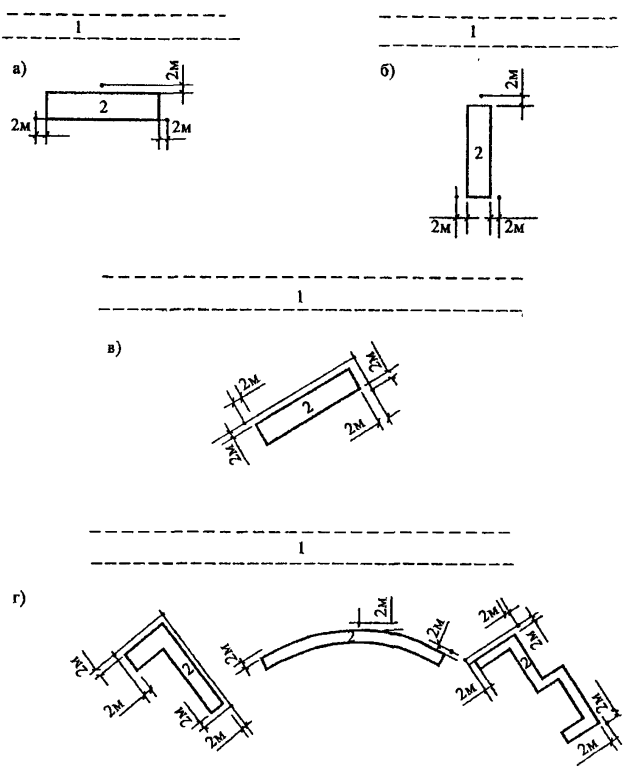


Рис. 4.3. Выбор расчетных точек около здания:
а - фронтальное расположение; б - торцевое расположение
в - расположение под углом к магистрали; г - здание сложной формы;
1 - транспортная магистраль; 2 - здания; • - расчетные точки

При проектировании экрана, защищающего от шума группу зданий, расчетные точки выбираются около здания, наиболее близкого к магистрали, и около самого левого и самого правого углов крайних зданий в застройке.

Для площадок отдыха выбор расчетных точек производится аналогично рис. 4.3, однако расчетные точки располагаются непосредственно на границе площадок.

Во всех вышеперечисленных случаях расчетная точка, наиболее близкая к магистрали (наихудший шумовой режим), служит для определения акустической эффективности экрана, а две другие, более удаленные от магистрали, необходимы при определении требуемой длины экрана.

В случае если направление магистрали в пределах участка между самой левой и самой правой расчетными точками меняется, то находится точка перегиба, и магистраль условно рассматривается как состоящая из двух прямолинейных отрезков. Аналогичным образом поступают, если магистраль меняет свое направление за пределами указанного участка, но на расстоянии (в каждую сторону), не превышающем половины требуемой длины экрана (табл. 4.2).

Во всех этих случаях расчеты акустической эффективности экрана и его требуемых размеров должны производиться для случая 2 пересекающихся автомагистралей.

Определение шумовой характеристики транспортного потока на магистрали для дневного часа пик ($L^{дн}_{А\,экв\,тр}$) в соответствии с [1] и на основании ее и анализа ситуационного плана рассчитывается также ожидаемый уровень звука в каждой расчетной точке в соответствии с [2].

При проектировании второго отражающего экрана на противоположной стороне магистрали к найденной шумовой характеристике транспортного потока следует добавить поправку на отражение звука в соответствии с табл. 4.3.

Таблица 4.2

Величины $l_д$ для расчета требуемой длины экрана, м

Расстояние от ближайшего бордюра магистрали до расчетной точки R, м	Расстояние от ближайшего бордюра магистрали до экрана RBE, м		
	1	2	3
1	2	3	4
10	109	127	145
15	147	164	181
20	187	204	221
25	220	236	252
30	258	274	290
35	284	299	314
40	312	327	342
45	339	353	367
50	364	378	392
55	397	411	425
60	420	433	446
65	441	454	467
70	467	480	493
75	488	501	514
80	509	521	533
85	531	543	555
90	554	566	578
95	568	580	592
100	593	605	617
105	608	619	630
110	634	645	656
115	650	661	672
120	663	674	685
125	684	695	706
130	702	713	724
135	719	729	739
140	737	747	757

Таблица 4.3

Поправка к шумовой характеристике транспортного потока при наличии двухстороннего отражающего экрана

Количество полос движения транспорта в одну сторону	Поправка $\Delta L_{Аэкр\ отр}$, дБА
2	4
3	3
4	2
6	1
8 и более	0

В зависимости от назначения защищаемого от транспортного шума здания или территории определяется с помощью [2] допустимый эквивалентный уровень звука в расчетных точках как в дневное ($L_{А\ экв}^{доп\ дн}$),так и в ночное время ($L_{А\ экв}^{доп\ н}$), дБА.

Для каждой расчетной точки как для дневного, так и для ночного времени находятся разности между ожидаемым уровнем звука в расчетной точке без экрана и допустимым эквивалентным уровнем звука по формулам

$$\Delta L_{Аэкв}^{дн} = L_{Ар.т}^{дн} - L_{Аэкв}^{доп\ дн},\ дБА \qquad (4.1)$$

$$\Delta L_{Аэкв}^{н} = L_{Ар\ т}^{н} - L_{Аэкв}^{доп\ н},\ дБА \qquad (4.2)$$

Из полученных величин ($\Delta L_{Аэкв}^{дн.}$ и $\Delta L_{Аэкв}^{н.}$) для всех расчетных точек на уровне одного и того же этажа выбирается наибольшая (наихудший случай), показывающая требуемое снижение шума ($\Delta L_{А\ треб}$) на уровне этого этажа, которое должен обеспечить экран.

Для расчета требуемой высоты экрана необходимо выполнить ряд иттерационных действий. Вначале с помощью ситуационного плана (а в случае пересеченной местности дополнительно и ее вертикального разреза) определяют место установки экрана, исходя из удобства его монтажа. При этом целесообразно располагать экран как можно ближе к бордюру проезжей части, но не далее 15 м от него.

Далее задают первоначальную высоту экрана ($H_э$) не менее 2 м. Сооружение экранов высотой 6 м и более возможно, но технически значительно сложнее (необходимо забивать сваи и усиливать устойчивость экрана). Поэтому во многих случаях высота экрана должна находиться в пределах от 2 до 6 м. Если при этом не удается достичь требуемого снижения шума ($\Delta L_{А\ треб}$), то экран располагают ближе к магистрали и повторяют расчеты, начиная с $H_э$ = 2 м. Следует учитывать, что степень сложности достижения требуемого снижения шума экраном зависит напрямую от величины $\Delta L_{А\ треб}$:

• при $\Delta L_{А\ треб} \leq 10$ дБА подбор экрана-стенки несложен;

• при $\Delta L_{А\ треб}$ = 11-15 дБА связан с определенными трудностями;

• при $\Delta L_{А\ треб}$ = 16-20 дБА очень трудный (необходима сложная конструкция экрана);

• при $\Delta L_{А\ треб} > 20$ дБА обеспечить $\Delta L_{треб}$ экраном-стенкой невозможно. В этих случаях рассматривают возможность применения других типов экранов (выемки, земляные валы, насыпи и т.п.).

Для экрана-стенки заданной высоты и месторасположения вычерчивают вертикальный разрез (рис.4.1) и, определив по нему вспомогательные величины, перечисленные под рис. 4.1, рассчитывают величины A, B и C, а по ним разность хода звуковых лучей (σ) через экран и число Френеля N:

$$A = \sqrt{(RPR + RBE)^2 + (HEKR - HIST)^2} \qquad (4.3)$$

$$B = \sqrt{RER^2 + (HEKR - HRT)^2} \qquad (4.4)$$

$$C = \sqrt{(RPR + RBE + RER)^2 + (HRT - HIST)^2}, \qquad (4.5)$$

$$\sigma = A + B - C, \qquad (4.6)$$

$$N = \frac{2\sigma}{\lambda} \qquad (4.7)$$

где λ – длина звуковой волны, м.

На основании числа Френеля (N) рассчитывают по формулам

Маекавы снижение шума ($\Delta L_{Аэ}$), обеспечиваемое экраном-стенкой данной высоты:

$$\begin{aligned}
&\Delta L_{Аэ} = 9 \lg N + 9, && \text{при } N \geq 1;\\
&\Delta L_{Аэ} = 4{,}5 \lg N + 8{,}35, && \text{при } 0{,}2 \leq NF < 1;\\
&\Delta L_{Аэ} = 2 \lg N + 6{,}5, && \text{при } 0{,}01 \leq N < 0{,}2;\\
&\Delta L_{Аэ} = 2{,}2, && \text{при } 0 < N < 0{,}01;\\
&\Delta L_{Аэ} = 0, && \text{при } N \leq 0.
\end{aligned} \qquad (4.8)$$

Для обеспечения найденной акустической эффективности экрана ($\Delta L_{Аэ}$) необходимо, чтобы длина экрана составляла не менее $l_{э\,треб}$ (рис. 4.4), которая рассчитывается по формуле

$$l_{э\,треб} = 2\,l_1 + l_{зд\,прив}, \text{ м}, \qquad (4.9)$$

где l_1 – величина, определенная по табл. 4.2 в зависимости от ближайшего бордюра магистрали до экрана RBE и до самой дальней расчетной точки R, м;

$l_{зд\,прив}$ – приведенная длина здания с учетом расположения крайней левой и крайней правой расчетных точек, м, определенная геометрически по ситуационному плану или рассчитанная по формуле

$$l_{зд\,прив} = l \cdot \cos\beta + в \cdot \sin\beta + 4, \text{ м}, \qquad (4.10)$$

где l – длина здания, м,

в – ширина здания, м;

β – угол между продольной осью здания и осью магистрали в месте их пересечения, градусы.

Геометрический смысл величин в формулах (4.9) и (4.10) пояснен дополнительно на рис. 4.5 и 4.6.

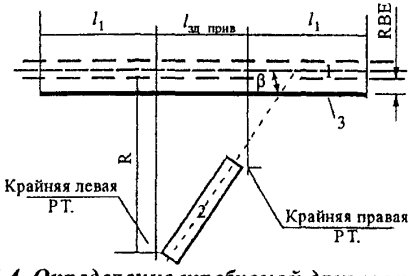


Рис. 4.4. Определение требуемой длины экрана:
1 - транспортная магистраль; 2 - здание; 3 - экран;
• - расчетная точка (Р.Т.)

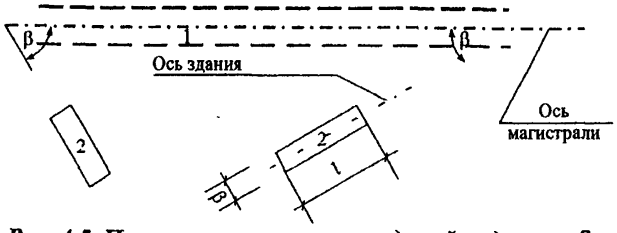


Рис. 4.5. Примеры расположения зданий под углом β:
1 - транспортная магистраль; 2 - здание

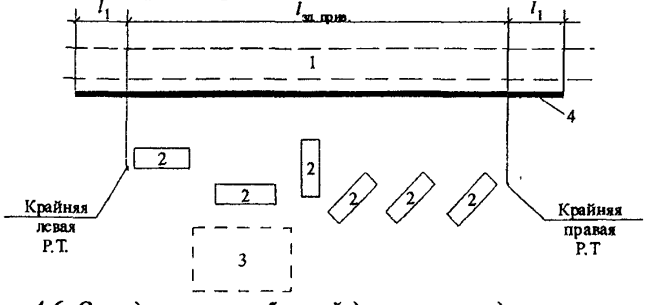


Рис. 4.6. Определение требуемой длины эрана для защиты от шума магистрали группы зданий:
1 - транспортная магистраль; 2 - здания; 3 - площадка отдыха; 4 - экран; • - расчетная точка

При защите от шума магистрали группы зданий, а также площадок отдыха находятся на ситуационном плане проекции на ось магистрали крайней левой и крайней правой расчетных точек застройки и определяется расстояние ($l_{зд.прив}$) между ними (рис. 4.6). Это расстояние может быть рассчитано также аналитически.

При длине экрана $l_{экр} \geq l_{экр\ треб}$ экран относится к категории протяженных экранов.

Если в силу конкретных градостроительных условий возможна только установка экрана длиной $l_{экр} < l_{экр\ тр}$, то принимают максимально возможную длину экрана. Однако экран при этом переходит в категорию экранов ограниченной длины, его акустическая эффективность уменьшается.

Акустическую эффективность экрана ограниченной длины можно увеличить (но не выше чем для протяженного экрана той

же высоты и расположенного на том же месте), спроектировав дополнительные боковые отгоны к нему (рис. 4.7).

Угол, под которым располагается боковой отгон по отношению к основной части экрана, выбирается произвольно, а необходимая длина ($l_{отр}$) бокового отгона выбирается следующим образом.

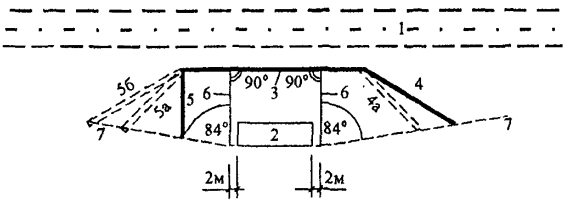


Рис. 4.7. Варианты расположения боковых отгонов у экрана ограниченной длины:
1 - транспортная магистраль; 2 - здание, защищаемое экраном от шума; 3 - экран ограниченной длины; 4,5 - выбранные боковые отгоны; 4а, 5а, 5б - примеры возможного расположения боковых отгонов; 6 - перпендикуляр из расчетной точки на продольную ось транспортной магистрали; 7 - луч под углом 84° к перпендикуляру на ось; • - расчетная точка

На ситуационном плане рассматриваемого участка селитебной территории из крайней правой (соответственно левой) расчетной точки, наиболее удаленной от магистрали, опускается перпендикуляр на продольную ось магистрали и под углом в 84° к нему проводится луч в направлении к магистрали и вне пределов защищаемого от шума объекта.

Боковой отгон проводится от края экрана ограниченной длины до соответствующего луча. Требуемая длина бокового отгона измеряется по ситуационному плану. Длина бокового отгона может быть также рассчитана аналитически. По экономическим соображениям следует стремиться к выбору минимально возможной длины бокового отгона.

Высота экрана в боковом отгоне должна быть не ниже высоты экрана ограниченной длины.

Экраны в основной своей части (за исключением боковых отгонов) должны располагаться, как правило, параллельно транспортной магистрали.

После определения геометрических размеров экрана и его месторасположения следует подобрать наиболее приемлемую для конкретных градостроительных условий конструкцию экрана.

Случай наличия двух пересекающихся автотранспортных магистралей

При воздействии на застройку или отдельное здание (площадку отдыха) шума от двух пересекающихся магистралей (магистрали 1 и 2 на рис. 4.8) необходимо спроектировать экран сложной формы, состоящий из двух частей, каждая из которых располагается вдоль соответствующей магистрали. При этом боковая кромка, расположенная вблизи места пересечения магистралей, является общей для обеих частей экрана.

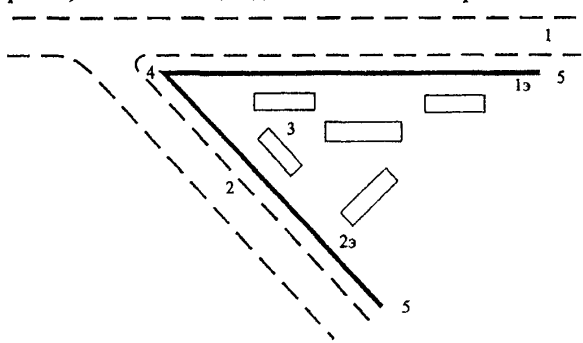


Рис. 4.8. Экран сложной формы для защиты застройки от шума вблизи места пересечения двух магистралей: 1,2 -транспортные магистрали; 1э (2э) - часть экрана сложной формы для защиты застройки от шума 1-й (соответственно 2-й) магистрали; 3 - застройка; 4 - общая боковая кромка экрана; 5 - свободные боковые кромки экрана

Проектирование экрана сложной формы производится в следующем порядке.

Определяется шумовая характеристика транспортного потока на каждой магистрали для часа пик дневного времени ($L^{дн}_{Аэкв.тр\,1}$ и $L^{дн}_{Аэкв\,тр\,2}$) и для ночного времени в соответствии с [1] ($L^{н}_{Аэкв\,тр}$ и $L^{н.}_{Аэкв\,тр\,2}$).

Устанавливается в соответствии с [4] допустимый эквивалентный уровень звука для защищаемых от шума объектов как для дневного ($L^{доп.дн}_{Аэкв}$), так и для ночного ($L^{доп\,н}_{Аэкв.}$) времени суток.

Рассчитывается требуемое снижение шума от транспортного потока на магистрали 1, которое должна обеспечить первая часть экрана ($1_э$ на рис. 4.8) для дневного и ночного времени:

$$\Delta L^{дн}_{Атреб\,1} = L^{дн}_{Ар\,т\,1} - L^{доп\,дн.}_{Аэкв} + 3, дБА, \qquad (4.11)$$

$$\Delta L^{н}_{Атреб\,1} = L^{н}_{Ар\,т\,1} - L^{доп\,н}_{Аэкв} + 3, \text{ дБА}, \qquad (4.12)$$

где $L_{А\,р\,т\,1}$ – ожидаемый уровень звука в расчетной точке при отсутствии экрана 1, дБА.

Из величин $\Delta L^{дн.}_{Атреб\,1}$ и $\Delta L^{н}_{Атреб\,1}$ выбирается наибольшая, ее обозначают через $\Delta L_{Атреб\,1}$ и используют для дальнейших расчетов.

Аналогичную процедуру выполняют для магистрали 2, используя формулы

$$\Delta L^{дн.}_{Атреб\,2} = L^{дн}_{Ар\,т\,2} - L^{доп\,дн}_{Аэкв} + 3, дБА, \qquad (4.13)$$

$$\Delta L^{н}_{Атреб\,2} = L^{н}_{Ар\,т\,2} - L^{доп.н}_{Аэкв} + 3, \text{ дБА}, \qquad (4.14)$$

$$\Delta L_{Атреб\,2} = \max(\Delta L^{дн}_{Атреб\,2}, \Delta L^{н}_{Атреб\,2}), дБА, \qquad (4.15)$$

где $L_{А\,р\,т\,2}$ – ожидаемый уровень звука в расчетной точке при отсутствии экрана 2, дБА.

Дальнейший расчет производится в соответствии с п. 2.2.2 для каждой магистрали отдельно. При этом условно предполагается, что другая магистраль отсутствует.

Свободные боковые кромки частей $1_э$ и $2_э$ экрана должны отстоять от самой крайней расчетной точки на расстоянии l_1 (рис. 4.4), определенном по табл. 4.2.

Если, в силу градостроительных условий, не удается обеспечить одновременно такую длину одной или обеих частей экрана, то для них выбирают приемлемую длину и проектируют боковые отгоны.

Является допустимым принимать для частей $1_э$ и $2_э$ экрана разные высоты и разное расстояние от ближайшего бордюра соответствующей магистрали.

При проектировании экранов в общем случае следует учитывать следующие обстоятельства:

• для уменьшения требуемой высоты и длины экрана при той же его акустической эффективности, а значит для уменьшения стоимости экрана, следует располагать его как можно ближе к магистрали, учитывая в то же время требования обеспечения безопасности движения транспорта и вероятность прохождения вблизи магистрали различных коммуникаций;

• расстояние между экраном и стоящим за ним зданием должно быть не менее 10 м.

4.5.3. Устройство контр-экранов и дубль-экранов

В местах расположения остановок общественного транспорта или в других необходимых случаях следует предусматривать разрывы в экранах.

Для предупреждения проникания транспортного шума за экран через разрыв следует устанавливать напротив него контр-экран (рис. 4.9).

Требуемая длина контр-экрана ($l_{к-экр}$) должна составлять:

$$l_{к-экр} = l_{hfphV} + 4d, \text{ м}, \qquad (4.16)$$

где $l_{разр}$ – ширина разрыва в основном экране, м;

d – ширина прохода между основным экраном и контр-экраном, м.

Чтобы не допустить снижения акустической эффективности основного экрана в месте разрыва, высоту контр-экрана следует принимать на 60 см больше высоты основного экрана, если она составляет 3 – 4,5 м, и на 90 см больше, если она составляет от 4,6 м до 6 м.

Вместо контр-экрана в местах прохода пешеходов или проездов специальных машин может быть предусмотрен дубль-экран (рис. 4.10). Угол расположения по отношению к магистрали наклонной части дубль-экрана не должен превышать 30°. Длина дубль-экрана должна быть не менее 4,7d, где d – ширина прохода (проезда) через дубль-экран. Высота дубль-экрана должна соответствовать высоте основного экрана.

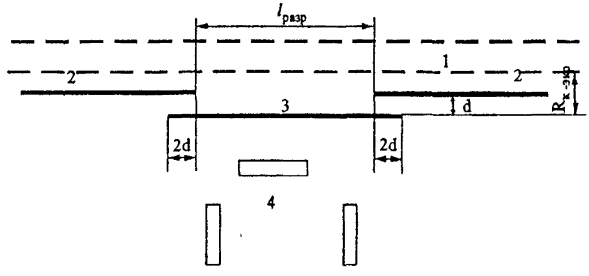


Рис. 4.9. Устройство контр-экрана при организации прохода (проезда) на территорию за основным экраном:
1 - транспортная магистраль; 2- основной экран;
3 - контр-экран; 4 - застройка

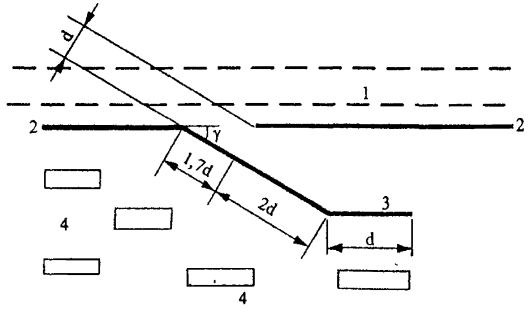


Рис. 4.10. Устройство дубль-экрана при организации прохода (проезда) на территорию за основным экраном:
1 - транспортная магистраль; 2 - основной экран;
3 - дубль-экран; $\gamma \leq 30^{\circ}$

4.5.4. Методика проектирования придорожного шумозащитного экрана ограниченной длины

Вначале, в соответствии с изложенной ранее методикой, определяется акустическая эффективность протяженного экрана ($\Delta L_{А\ э\ пр}$), имеющего ту же высоту и расположенного на том расстоянии от магистрали, что и данный экран ограниченной длины.

Далее на ситуационном плане, выполненном в произвольном масштабе, отмечают расчетную точку и соединяют ее прямыми отрезками с концами экрана ограниченной длины, а также опускают перпендикуляр из расчетной точки на продольную ось магистрали (рис. 4.11), определяют углы α_1 и α_2 (в градусах) между перпендикуляром и указанными прямыми отрезками ($\alpha_1 + \alpha_2 \leq 168°$).

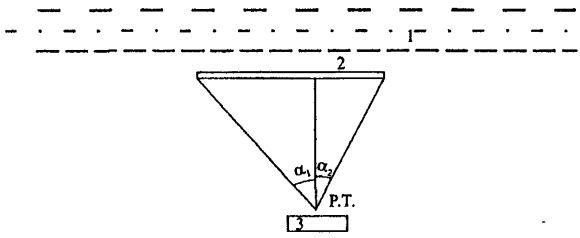


Рис. 4.11. Ситуационный план месторасположения экрана ограниченной длины и защищаемого от шума объекта: 1 - магистраль; 2 - экран ограниченной длины; 3 - здание, защищаемое от шума; Р.Т. - расчетная точка

По табл. 4.4 находится вспомогательная величина ($\Delta L_{А\ всп}$) в зависимости от расстояния между ближним бордюром магистрали и расчетной точкой.

Рассчитывается величина L′ по формуле

$$L' = \Delta L_{А\ экв\ пр} - \Delta L_{А\ всп}, \text{ дБА.} \qquad (4.17)$$

Таблица 4.4

Вспомогательные величины $\Delta L_{A\,всп}$

Расстояние от ближайшего бордюра магистрали до расчетной точки R, м	$\Delta L_{A\,всп}$
10	2
15	4
20	5
25	6
30	6
35	7
40	7
45	8
50	8
55	9
60	9
65	9
70	10
75	10
80	10
85	11
90	11
95	11
100	12
105	12
110	12
115	13
120	13
125	13
130	13
135	14
140	14

В зависимости от углов α_1, α_2 и от величины L′ определяются по табл. 4.5 величины $\Delta L_{А э\, \alpha 1}$ и $\Delta L_{А э\, \alpha 2}$.

Окончательно акустическая эффективность экранов ограниченной длины ($\Delta L_{А э\, огр}$) находится по формуле

$$\Delta L_{А э\, огр} = \Delta L_{А э\, \alpha} + \Delta q + \Delta L_{А\, всп}, \text{ дБА}, \qquad (4.18)$$

где $\Delta L_{А э\, \alpha}$ – меньшая из величин $\Delta L_{А э\, \alpha 1}$ и $\Delta L_{А э\, 2\alpha}$, дБА;

q – поправка, определяемая по табл. 4.6, в зависимости от разности величин $\Delta L_{А э\, \alpha 1}$ и $\Delta L_{А э\, \alpha 2}$, взятой со знаком плюс.

Таблица 4.5

Снижение уровня звука экраном в зависимости от угла α_1 при условии, что угол $\alpha_2 \to 90°$ (или в зависимости от угла α_2 при условии, что угол $\alpha_1 \to 90°$).

Величина L′, дБА	Угол α_1 (или α_2), градусы							
6	1	2	2	2	3	3	4	5
7	1	2	2	3	4	4	5	6
8	2	2	3	4	5	6	6	7
10	2	3	4	5	6	7	8	9
12	2	3	4	5	6	7	9	10
14	3	3	4	5	7	8	10	11
16	3	4	4	6	7	9	10	12
18	3	4	5	6	7	9	11	13
20	3	4	5	6	8	9	11	14
22	3	4	5	6	8	10	12	14
24	3	4	6	6	8	10	13	15

Таблица 4.6.

Поправки Δ q

Разность $\lvert \Delta L_{А э\, \alpha 1} - \Delta L_{А э\, \alpha 2} \rvert$, дБА	0	2	4	6	8	10	12	14
Поправка Δq, дБА	0	1	1	2	2	3	3	3

4.5.5. *Методика проектирования экранов разных типов, отличных от вертикальной стенки*

При проектировании экранов в виде вертикальных стенок, выполненных из различных материалов, следует руководствоваться изложенными выше подходами.

При проектировании экранов в виде выемок поступают следующим образом.

На разрезе выемки на чертеже из верхнего края (бровки) выемки опускают перпендикуляр на основание выемки (рис. 4.12в), измеряют его высоту, которая соответствует высоте условного экрана-стенки, вписанного в выемку. Намечают расчетную точку за пределами бровки выемки и акустический центр транспортного потока (на высоте 1 м над осью самой дальней полосы /пути/ движения транспорта) и определяют в соответствии с рис. 4.12в величины A,B, C и внешний угол β_s. Далее рассчитывают экранирующий эффект условного экрана-стенки ($\Delta L_{A\ усл\ ст}$) и затем рассчитывают экранирующий эффект выемки по формуле

$$\Delta L_{A\ э\ выем} = \Delta L_{A\ усл\ ст} - DL, \qquad (4.19)$$

где $DL = 1$, при $\beta_s \geq 255°$,
$DL = 3$, при $\beta_s \geq 240°$,
$DL = 5$, при $\beta_s \geq 225°$,
$DL = 6$, при $\beta_s \geq 210°$.

Для других значений угла β_s величину DL находят интерполяцией.

Откосы выемки должны иметь уклон 1:2 или 1:1,5. На бровке выемки может быть дополнительно установлен экран-стенка высотой $H_{э\ доп}$, что увеличивает акустическую эффективность комбинированного экрана выемка+стенка. Для ее расчета вначале определяют акустическую эффективность выемки ($\Delta L_{Аэ\ выем}$), затем акустическую эффективность дополнительного экрана-стенки ($\Delta L_{Аэ\ доп}$) и далее находят методом энергетического суммирования их сумму:

$$\Delta L_{Авыем+ст} = 10\lg\left(10^{0,1\,\Delta L_{Аэ\ выем}} + 10^{0,1\,\Delta L_{Аэ\ доп}}\right), \text{ дБА}. \qquad (4.20)$$

При проектировании экрана в виде насыпи (земляного вала и т.п.) в разрез насыпи на чертеже вписывают прямоугольный

параллелепипед, согласно рис. 4.12б, определяют его толщину W и внешние углы TS и TR.

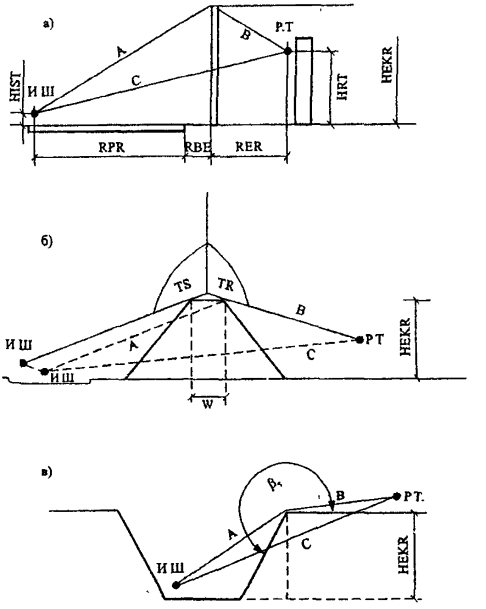


Рис. 4.12. Схема для расчета разности хода звуковых лучей в случае:
а - экрана-сетки; б - экрана-насыпи; в - экрана-выемки

Фасад параллелепипеда, более близкий к расчетной точке, рассматривают как условный экран-стенку и рассчитывают его акустическую эффективность. По углам TS и TR на основании графика на рис. 4.13 определяют коэффициент (К) и далее находят экранирующий эффект насыпи:

$$\Delta L_{Аэ\ нас} = \Delta L_{А\ усл\ ст} + K(\lg W + 0{,}7) - DL, \text{ дБА}, \qquad (4.21)$$

где DL – то же, что и в формуле (4.19).

В ряде случаев наверху насыпи (земляного вала) может быть установлен дополнительный экран-стенка, что увеличивает общую акустическую эффективность такого комбинированного экрана. Она рассчитывается аналогично формуле (4.20).

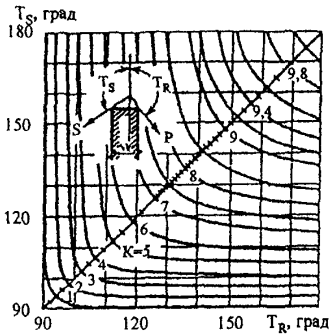


Рис. 4.13. Номограмма для определения величины K

4.5.6. Общие рекомендации по конструированию шумозащитных экранов

Материалы для изготовления элементов конструкций экранов должны быть долговечными, стойкими к атмосферным воздействиям, влиянию выхлопных газов автомобилей, моторных масел, противогололедных солей и детергентов, устойчивыми к воздействию механических средств очистки.

Наиболее рациональными материалами для экранов являются бетон, железобетон, кирпич, сталь, алюминий, пластмассы, дерево с биовлажностной пропиткой.

Конструкции отдельных элементов экрана должны обеспечивать их плотное примыкание друг к другу без щелей и отверстий. Нижние элементы должны устанавливаться вплотную к поверхности территории (без просветов).

Экраны следует рассчитывать на снеговые, ветровые и сейсмические нагрузки, а также на механическую прочность.

Конструктивные решения экранов, предназначенных для установки на улицах или дорогах с двухсторонним расположением защищаемых от шума объектов, должны предусматривать наличие со стороны магистрали звукопоглощающих конструкций в виде резонирующих панелей, звукопоглощающих облицовок или

заполнений. Звукопоглощающие материалы, используемые для облицовок или заполнения экрана, должны обладать стабильными физико-механическими и акустическими показателями в течение всего периода эксплуатации, быть биостойкими и влагостойкими, не выделять в окружающую среду вредных веществ в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации для атмосферного воздуха.

Для увеличения эффективности звукопоглощающих облицовок они должны крепиться на жестком основании непосредственно на поверхности экрана. Для защиты звукопоглощающего материала от попадания влаги необходимо предусматривать защитное покрытие в виде пленки. Снаружи экраны со звукопоглощающей облицовкой должны защищаться перфорированными листами из алюминия, стали или пластика.

Конструктивные решения экранов должны удовлетворять эстетическим требованиям и учитывать тип местности в районе их установки. Необходимо стремиться к выбору такой формы экрана и отделки его поверхности, чтобы экран производил впечатление естественного, случайно созданного природой объекта.

Шумозащитные экраны не должны являться элементами повышенной опасности при наезде автомобилей. Для этого экраны должны иметь ограждения жесткого парапетного или полужесткого планочного типа с усиленными продольными элементами или быть защищены ограждениями любого типа. Ограждения следует устанавливать на расстоянии не менее 0,5 м от бровки земляного полотна и не менее 1 м от края проезжей части. Расстояние между ограждением и экраном должно быть больше максимального прогиба ограждения при наезде автомобиля с расчетной скоростью и достаточным для возможности механизированной уборки снега.

Существуют разнообразные технические решения конструкций экранов. Тот или иной тип экрана выбирается проектировщиком исходя из общих требований, предъявляемых к экранам, их архитектурной выразительности в конкретных градостроительных условиях, наличия материалов для изготовления.

Исходя из принципиального технического решения экрана, проектировщик производит привязку экрана к конкретной

градостроительной ситуации, выбирает его высоту и длину, а также месторасположение и форму в плане.

Акустическая эффективность выбранного типа экрана оценивается расчетным путем в соответствии с вышеизложенной методикой.

Земляные валы обладают рядом преимуществ перед экранами-стенками. Для их создания обычно используют излишки грунта после строительно-земляных работ. Стоимость сооружения валов в 2-3 раза ниже затрат на изготовление и монтаж экранов-стенок. В теле валов можно располагать авторемонтные предприятия, гаражи, коллекторы и другие коммуникационные сооружения. Озеленение склонов валов придает им живописный вид. Однако валы занимают достаточно большую площадь территории. Поэтому их применение целесообразно в основном в пригородных зонах, особенно при защите от транспортного шума дачных участков и участков коттеджной застройки. В ряде случаев ширина земляных валов может быть уменьшена за счет облицовки их откосов бетонными или каменными плитами.

Хороший шумозащитный эффект дает прокладывание транспортных магистралей в выемках, по дну разработанных оврагов. Для повышения акустической эффективности валов, выемок и т.п. в ряде случаев требуется сооружение поверх них экранов-стенок (комбинированные экраны).

В условиях сложившейся, а нередко и проектируемой застройки, наиболее приемлемы экраны в виде вертикальных стенок. Такие экраны могут изготовляться из разных материалов, но чаще всего их делают из сборного или монолитного железобетона. Экраны простой формы бывают двух типов:

1. В виде стенок как с несущими опорами, так и без них, свободно стоящими на ленточном фундаменте;

2. Комбинированными, сочетающими железобетонные элементы и грунт.

Наиболее перспективными являются конструкции из унифицированных элементов заводского изготовления, позволяющие варьировать высоту, длину и форму экрана.

Высота экранов чаще всего составляет 3-6 м, хотя встречаются и более высокие экраны (до 16 м). Длина экранов может составлять сотни метров и несколько километров. Для улучшения внешнего вида на поверхностях экранов-стенок могут быть сделаны уступы разнообразной формы, заполняемые землей и засаживаемые декоративными растениями.

5. Рекомендации по определению шумовых характеристик автотранспортных потоков

Метрологическое обеспечение их измерения

5.1. При оценке шумового воздействия автотранспортных потоков на окружающую городскую среду и при разработке шумозащитных мероприятий на разных стадиях проектирования необходимо выполнение акустических расчетов по определению шумовых характеристик автотранспортных потоков на улично-дорожной сети городов и других населенных пунктов, а также ожидаемых уровней звука на различных участках селитебных территорий. Известно, что все расчетные методы имеют некоторую долю погрешности, так как теоретически невозможно учесть все многообразие факторов внешней среды и при разработке расчетных методов всегда приходится делать какие-то упрощающие предположения и пренебрегать некоторыми факторами, неподдающимися непосредственному расчету (например, климатическими факторами, факторами, характеризующими техническое состояние автомобилей в потоке и др.). Вместе с тем, при разработке расчетных методик многие авторы пытаются повысить точность расчетов за счет введения эмпирических поправок, полученных путем анализа результатов натурных измерений шума автотранспортных потоков. Из всего этого можно сделать два основных вывода:

• во-первых, для получения наиболее достоверных шумовых характеристик автотранспортных потоков на существующих улицах и дорогах необходимо проведение натурных измерений автотранспортного шума;

• во-вторых, натурные измерения необходимы для уточнения расчетных методик.

В связи с этим, возникает необходимость разработки и использования на практике единой методики измерения шумовых характеристик автотранспортных потоков, а также аналогичной методики, но по отношению к оценке шумового режима в жилой застройке (на селитебной территории).

5.2. Натурные измерения шумовых характеристик автотранспортных потоков должны проводиться в соответствии с ГОСТ 20444-85 [1]. В качестве шумовой характеристики автотранспортного потока ГОСТ 20444-85 установил эквивалентный уровень шума ($L_{Аэкв}$, дБА), измеренный на расстоянии 7,5±0,2 м от оси ближней к точке измерения полосы движения транспорта на высоте 1,5±0,1 м от уровня проезжей части. В условиях стесненной застройки допускается располагать измерительный микрофон на расстоянии меньшем 7,5 м от оси ближней полосы, но не ближе 1 м от стен зданий, сплошных заборов и других сооружений или элементов рельефа, отражающих звук. В случае расположения улицы или дороги в выемке измерительный микрофон устанавливают на бровке выемки на высоте 1,5±0,1 м от уровня земли.

5.3. Места проведения измерений выбираются на прямолинейных горизонтальных участках улицы или дороги с установившейся скоростью движения автотранспортных средств и на расстоянии не менее 50 м от транспортных узлов и остановок общественного транспорта. Измерения проводятся при хорошей погоде (при отсутствии осадков или тумана) и при условии, что поверхность проезжей части улицы или дороги является чистой и сухой. Скорость ветра в момент проведения измерений не должна превышать 5 м/с. При скорости ветра свыше 1 м/с на измерительный микрофон должен быть надет противоветровой колпак.

5.4. При проведении измерений следует избегать дополнительного воздействия на измерительную аппаратуру вибраций, магнитных и электрических полей, радиоактивного излучения и других неблагоприятных факторов и руководствоваться при этом инструкциями на аппаратуру.

5.5. Измерения шумовых характеристик проводятся в период максимальной интенсивности движения транспортных средств (днем – в час пик, ночью – в наиболее шумный час).

5.6. Натурные измерения выполняются с помощью акустической аппаратуры – интегрирующих шумомеров, комбинированных измерительных систем, автоматических устройств, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 17187-81 и ГОСТ 17168. Значения уровней шума должны считываться с приборов с точностью не ниже 1 дБ (дБА).

5.7. Перед началом и после проведения каждого измерения аппаратура должна калиброваться. Предпочтительной является калибровка с помощью акустического калибратора, которая позволяет проверить весь измерительный тракт. При отсутствии акустического калибратора допускается электрическая калибровка измерительного тракта, однако при этом вне проверки остается измерительный микрофон.

5.8. Вся применяющаяся аппаратура по своим метрологическим характеристикам должна удовлетворять требованиям ГОСТ 17187 и ГОСТ 17168 и иметь действующие свидетельства о государственной проверке.

5.9. В качестве измерительной аппаратуры рекомендуется использовать аппаратуру фирмы «Брюль и Къер» (Дания) и прежде всего – прецизионные шумомеры типа 2230 и 2231 и других более поздних типов, анализатор уровней шума типа 4426. Возможно применение других акустических приборов, в том числе и разработанных другими фирмами.

5.10. Возможны два способа выполнения натурных измерений. При первом, шумовая характеристика определяется непосредственно на месте измерений. При втором способе, исследуемый шум записывается в натурных условиях на магнитофон. Полученные магнитные записи шума затем анализируются в лабораторных условиях.

5.11. Измерительные микрофоны приборов во время измерений направляются в сторону транспортного потока. Для уменьшения влияния на точность измерений отражений звука оператор должен находиться на расстоянии не менее 0,5 м от измерительного микрофона. Переключатель частотной характеристики приборов устанавливается в положение коррекции «А», а

переключатель временной характеристики – в положение «быстро».

5.12. Как правило, предпочтительными являются измерения шумовых характеристик приборами, непосредственно автоматически измеряющими эквивалентные уровни шума. И лишь при отсутствии таких приборов ГОСТ 20444-85 допускает проведение измерений с помощью приборов со стрелочным индикатором уровней звука. При этом интервалы между отсчетами уровней звука должны составлять 5-7 с, отсчеты должны проводиться в течение всего периода измерений как при наличии на участке транспортных средств, так и при их отсутствии.

5.13. Многочисленными измерениями, проводившимися НИИСФ и другими научно-исследовательскими организациями, было неоднократно доказано, что для получения надежного значения шумовой характеристики автотранспортного потока в часы «пик» достаточно проводить измерения шума в течение 10-30 мин (в зависимости от интенсивности движения транспорта). Поэтому с учетом этого фактора продолжительность каждого отдельного измерения должна находиться в указанных пределах. В целом следует руководствоваться правилом, что во время измерений мимо точки измерений должно проехать не менее 200 транспортных единиц суммарно в обоих направлениях.

5.14. Уровни шума помех, создаваемых посторонними источниками шума в период измерения шумовой характеристики автотранспортного потока, должны быть не менее чем на 20 дБА ниже уровней шума транспортных средств при прохождении их мимо измерительной точки.

5.15. Во время натурных измерений одновременно с определением шумовых характеристик автотранспортного потока подсчитывается количество транспортных средств каждого вида (легковые, грузовые автомобили, автобусы, мотоциклы), что позволяет рассчитать затем фактическую интенсивность движения и фактический долевой состав транспортного потока.

5.16. При натурных измерениях следует также оценивать среднюю скорость движения автотранспортного потока. Для этого проводятся измерения времени проезда различными транспорт-

ными средствами участка дороги длиной 20-30 м. Полученные значения времени проезда для разных автомобилей каждого типа (легковые, грузовые и автобусы) затем усредняются.

Средневзвешенная скорость потока в целом определяется по формуле

$$\overline{V}_{ср} = \frac{\overline{V}_{л} \cdot P_{д} + \overline{V}_{гр} \cdot P_{гр.} + \overline{V}_{а} \cdot P_{а}}{100},$$

где $\overline{V}$ – средняя скорость легковых, грузовых автомобилей и автобусов соответственно;

Р – процентная доля в потоке легковых, грузовых автомобилей и автобусов соответственно.

При этом для отдельного транспортного средства скорость V_i определяется по формуле

$$V_i = 36 \cdot l_{уч} / t_i, \text{ км/ч},$$

где t_i – время проезда i-ым транспортным средством $l_{уч}$=20-30-метрового участка улицы (дороги), с.

Средняя скорость транспортных средств определенного вида рассчитывается по формуле

$$\overline{V} = \sum_{i=1}^{n} \frac{V_i}{n},$$

где n – число измерений.

5.17. Методика измерения уровней звука на селитебной территории соответствует ГОСТ 23333-78 [10] и применяется для оценки уровней шума, создаваемого внешними источниками, в частности автотранспортными потоками на участках селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий.

5.18. Измерения проводятся с помощью тех же приборов (при тех же требованиях к ним и к помехам окружающей среды), что и при измерении шумовой характеристики автотранспортных потоков. Однако здесь имеются отдельные отличия, заключающиеся в следующем:

• измерительные точки выбираются в зависимости от назначения участков селитебной территории на высоте 1,2-1,5 м

над уровнем территории и на границе участка, наиболее близкой к транспортной магистрали. При измерениях уровней автотранспортного шума около фасадов зданий измерительные точки выбираются в 2 м от фасадов и на уровне середины окон первого и последнего (или иного, представляющего особый интерес) этажа здания;

• при проведении измерений внутри помещений зданий выбирается в больших помещениях не менее 3 измерительных точек, в небольших помещениях (обычных жилых комнатах) обычно одна измерительная точка на высоте 1,2-1,5 м над уровнем пола и на расстоянии не менее 1,5 м от окна. При измерениях окна и двери помещения должны быть закрыты. Если вентиляция помещения производится через открытую форточку, фрамугу, узкую створку (согласно требованиям санитарных норм), то эта форточка или т. п. во время измерений должна быть открыта;

• при измерениях шума около фасада здания окна, балконные двери, около которых производится измерение шума, должны быть закрыты, а измерительный микрофон должен быть укреплен на штанге, выдвинутой из открытого окна соседнего помещения, и расположен в измерительной точке.

5.19. Во время измерений все посторонние источники шума в помещениях должны быть отключены.

• непосредственная длительность измерений такая же, как и при измерении шумовой характеристики автотранспортных потоков, а общее время оценки шумового режима в помещении или на участке селитебной территории следует принимать в дневной период суток равный 8 часам, в ночной период – равный 0,5 часа.

• во время проведения измерений должна быть зафиксирована вся необходимая информация об источнике шума, о месте, времени и условиях измерений, о применявшейся аппаратуре.

5.20. Для изучения закономерностей снижения автотранспортного шума с увеличением расстояния от улицы (дороги) рекомендуется проводить одновременные попарные измерения шума в двух точках, расположенных по перпендикуляру к улице или дороге, но на разных расстояниях. При этом одна точка постоянно располагается в 7,5 м от оси ближней полосы движения

(как и при определении шумовой характеристики), а вторая точка измерений располагается последовательно на расстоянии 15,30, 60 и 120 м и т.п. от дороги (возможен набор других расстояний). Разность уровней звука в опорной точке (7,5 м) и второй точке характеризует снижение шума с расстоянием между этими точками. Анализ попарных разностей уровней позволяет получать закономерности снижения шума с расстоянием, независимо от изменения шумовой характеристики потока, от одной серии измерений к другой и представлять их в виде графика. В получавшихся при измерениях уровнях шума автоматически учитываются все факторы, влияющие на распространение транспортного шума на соответствующем участке прилегающей территории.

5.21. Полученные при измерениях данные могут быть использованы как для непосредственной оценки шумовых характеристик автотранспортных потоков и шумового режима на селитебной территории и в застройке, так и для разработки и уточнения методик расчета ожидаемого шумового режима в застройке и при разработке шумозащитных мероприятий, в частности, при проектировании шумозащитных экранов.

Приложения

Приложение 1

Некоторые сведения из акустики

Характеристики звукового поля. Колебания в жидкой, твердой и газообразной среде в диапазоне частот 16 Гц – 20 кГц воспринимаются человеком как звук. Колебания с частотами ниже 16 Гц называются инфразвуком, выше 20 кГц – ультра-звуком.

Изменение состояния воздушной среды при распространении звуковых волн характеризуется звуковым давлением p – превышением давления над давлением в невозмущенной среде, Па.

Звуковые волны в воздухе являются продольными. Они распространяются с конечной скоростью ($c_в$), которая зависит от температуры. Скорость звука $c_в$ при нормальных атмосферных условиях (температура 18°С, атмосферное давление 10^6Па) 340 м/с.

Важной акустической характеристикой воздушной среды, помимо скорости звука, является волновое сопротивление, которое входит во многие расчетные формулы. Для воздуха при нормальных атмосферных условиях волновое сопротивление $\rho_в c_в = 420$ Нс/м^3, $\rho_в$ – плотность воздуха.

Перенос энергии в воздухе при распространении звуковой волны характеризуется интенсивностью звука I, Вт/м^2, определяемой средним количеством энергии, переносимой через площадку единичной площади за единицу времени.

Другой энергетической характеристикой звукового поля является плотность звуковой энергии (ω, Дж/м^3), равная средней по времени сумме потенциальной и кинетической энергии волны в единичном объеме среды.

Интенсивность звука и плотность звуковой энергии тесно связаны с величинами, определяющими физиологическое воздействие шума на человека.

Звуковое поле в помещениях состоит из поля прямого звука, идущего непосредственно от источников, и поля отраженного звука. Во многих практически важных случаях поле отраженного звука диффузное, т. е. можно считать, что оно одинаково во всех точках

помещения и в каждой точке состоит из волн, которые с равной вероятностью приходят в эту точку по разным направлениям. Нередко (например, при прохождении звука в данное помещение из соседнего через разделяющее их ограж-дение) звуковое поле во всем помещении можно считать диффузным.

В диффузном звуковом поле средний по времени квадрат звукового давления (p^2), интенсивность звука *(I)* – она одинакова во всех направлениях – и плотность звуковой энергии (ω) связаны простыми соотношениями:

$$\omega = P^2/\rho_в c_в^2; \quad I = c_в\omega/4.$$

Характеристики источников шума. Источники шума характеризуются звуковой мощностью, направленностью и частотным спектром излучения.

Звуковой мощностью (P, Вт), источника шума называют общую звуковую энергию, излучаемую им в единицу времени. Звуковая мощность определяется потоком интенсивности звука через замкнутую поверхность площадью (S), окружающую источник звука:

$$P = \oint I dS.$$

Большинство источников излучают звук неодинаково в разных направлениях. Направленность излучения звука источником в разных направлениях характеризуют фактором (коэффициентом) направленности (Ф), равным отношению интенсивности звука, создаваемого источником в свободном поле в данной точке сферы, в центре которой он находится, к средней интенсивности звука на поверхности той же сферы:

$$\Phi = I/I_{ср}; \quad I_{ср} = P/4\pi r^2$$

где r – радиус указанной сферы. Величина Ф нормирована и удовлетворяет соотношению

$$\oint \Phi d\Omega = 4\pi,$$

где $d\Omega$ – элемент телесного угла 4π, в который излучается звук. Величина Ф зависит от направления. Для ненаправленного источника $\Phi = 1$. Направленность излучения проявляется, в основном, в области прямого звука, поле отраженного звука обычно мало зависит от направленности излучения источника.

Уровни величин. В акустических расчетах используют логарифмические уровни, дБ,

интенсивности звука

$$L_I = 10\lg (I/I_0),$$

звукового давления

$$L = 10\lg (p^2/p_0^2),$$

скорости частиц среды

$$L_\psi = 10\lg (\psi^2/\psi_0^2),$$

звуковой мощности

$$L_p = 10\lg (P/P_0)$$

и т. д. Здесь p и ψ – среднеквадратические значения звукового давления, Па, и скорости, м/с; $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$Па, $\psi_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с, $P_0 = 10^{-12}$ Вт – соответственно, исходные интенсивность звука, среднеквадратические звуковое давление и скорость частиц, звуковая мощность.

Исходная звуковая мощность равна звуковой мощности, переносимой звуковой волной интенсивностью I_0 через единицу площади.

Уровень суммы нескольких величин определяется по уровням последних L_i, где $i = 1,2 \ldots n$, соотношением

$$L_{сум} = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{n} 10^{0,1\,Li}\right), \qquad (а)$$

где n – число складываемых величин. Если, например, средняя величина квадрата звукового давления в некоторой точке среды $(p^2_{сум})$ равна сумме средних квадратов (p^2_i) звуковых давлений отдельных волн, пришедших в эту точку от нескольких источников или по нескольким путям распространения:

$$p^2_{сум} = \sum_{i=1}^{n} p_i^2,$$

то уровни складываются энергетически, и суммарный уровень звукового давления $(L_{сум})$ в данной точке определяется формулой *(а)*, в которой (Li) – уровень звукового давления для i-й волны в

данной точке. При «ручном» счете суммирование уровней выполняют по номограммам или с помощью следующих данных.

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

Если складываемые уровни одинаковы *(Li = L, i = 1, 2, ...n)*, то $L_{сум} = L + 10lg\, n$.

Чувствительность слуха падает с понижением частоты звука. Чтобы приблизить результаты объективных измерений и расчетов к субъективному восприятию, вводят корректированные уровни звукового давления, звуковой мощности и т. п. Коррекция заключается в том, что вносят поправки к уровню соответствующей величины, зависящие от частоты звука. Эти поправки стандартизованы в международном масштабе. Наиболее важной и распространенной является коррекция А. Корректированный уровень некоторой величины в *i*-ой полосе частот:

$$L_{Ai} = L_i - \Delta L_{Ai},$$

где L_{Ai} – уровень указанной величины в этой полосе частот.

Стандартные значения коррекции А в октавных полосах

Среднегеометрическая частота полосы, Гц	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Коррекция А/Д, дБ	80	42	26,3	16,1	8,6	3,2	0	-1,2	-1	1,1

Суммарный корректированный уровень некоторой величины со сложным спектральным составом определяется по уровням составляющих в полосах частот по формуле (а), куда вместо L_i подставляют L_{Ai}. Корректированный таким способом уровень звукового давления называется уровнем звука в дБА, а уровень

звуковой мощности источника – корректированным уровнем звуковой мощности в дБА.

Частотные спектры. Поскольку чувствительность человека к звукам и вибрации разных частот различна, нормирование шума и вибрации и акустические расчеты выполняют в полосах частот или с помощью корректированных уровней. Наиболее широко используются октавные полосы – такие, у которых отношение f_2 верхней и нижней f_1 граничных частот равно 2, и 1/3 октавные полосы – $f_2/f_1 = 1{,}26$. Каждая октавная полоса частот состоит из трех 1/3 октавных. Эти полосы частот стандартизованы в международном масштабе. Общеприняты октавные полосы со среднегеометрическими частотами $f_{ср} = \sqrt{f_1 f_2}$, равными 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц и т. д. Весь спектр частот, в которых нормируется данная величина, разбивают на такие полосы, в каждой из которых производят расчет.

Волны в стержнях и пластинах. В стержнях могут распространяться продольные, крутильные и изгибные волны со скоростями, м/с, соответственно:

$$c_{по} = \sqrt{E/\rho}\ ;\ c_{по} = \sqrt{G/\rho}\ ;\ c_{по} = \sqrt{B^2/m}\ , \quad (b)$$

где E, G – модули Юнга и сдвига материала стержня, Па; ρ – его плотность, кг/м^3; B – изгибная жесткость стержня, Нм^2; m – его погонная плотность, кг/м; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, 1/с. Формула (b) справедлива для стержней с круглым и кольцевым поперечными сечениями.

В пластинах (плитах) могут распространяться продольные волны со скоростью, м/с,

$$c_п = \sqrt{E/\rho(1-\nu^2)}$$

и изгибные – со скоростью, м/с,

$$c_и = \sqrt[4]{D\omega^2/m_п};$$

D – цилиндрическая жесткость пластины, Нм;

$m_п$ – масса пластины на единицу площади (поверхностная плотность), кг/м^2;

ν – коэффициент Пуассона.

Скорость продольных волн в пластинах из строительных материалов практически не зависит от частоты, ее значения для наиболее распространенных материалов приведены в табл. 4.2.

Пластины и стержни являются часто встречающимися излучателями шума и элементами строительных конструкций, по которым шум распространяется.

Волны в упругом теле. В отличие от воздуха в упругих средах могут распространяться продольные волны со скоростью, м/с,

$$c_1 = \sqrt{(\lambda + 2G)/\rho};$$

и поперечные $\overline{V}$ – со скоростью, м/с,

$$c_2 = \sqrt{G/\rho};$$

λ – постоянная Ламе, Па.

Если упругое тело имеет свободную поверхность, то вдоль нее могут распространяться Релеевские волны, скорость которых несколько ниже c_2. На больших расстояниях от источников колебаний (например, рельсового транспорта) Релеевские волны являются главным переносчиком энергии, так как их затухание, связанное с геометрическим расширением фронта, значительно меньше, чем у продольных и поперечных волн.

Приложение 2

Перечень основных нормативно-технических документов

1. ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Метод определения шумовой характеристики. М.: Изд-во стандартов, 1985.

2. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Минздрав РФ, 1996.

3. Глава СНиП 11-12-77. Защита от шума. М.: Стройиздат, 1978.

4. Инструкция по разработке раздела «Охрана окружаюшей среды» проектной документации на стадиях ТЭО, проект (рабочий проект) для строительства в г. Москве. М.: Москомприрода/ Мосгосэкспертиза, 1994.

5. Справочник по технической акустике. Л.: Судостроение, 1980.

6. Руководство по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума. М.: Стройиздат, 1982.

7. Снижение шума в зданиях и жилых районах (под ред. Г.Л.Осипова, Е.Я.Юдина). М.: Стройиздат, 1987.

8. Kragh J. Road traffic noise attenuation by belts of trees. J/ Sound Vibr.. 74,2, 1981.

9. Piercy J.E., Embleton T.F.W., Sutherland J.C. Review of noise propagation in the atmosphere/ JASA, 61.6, 1977.

10. ГОСТ 23337-78 Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий. М.: Изд-во стандартов, 1985.

11. Расчетные (безизмерительные) методы определения уровней внешнего шума. Варшава: Научные труды института образования среды, 1978.

12. DIN 18005. Schallschutz im Stadtebau. Richtlinien fur schalltechnis-che Bestandsaufnahme.

13. Совместная скандинавская методика расчета уровней автотранспортного шума / Труды института НИИСФ. М.: 1979. - Вып. 21.

14. Delany M.E. Noise research at NPL with particylar reference to road traffic. Washington D.C., Intemoise-72-Proceedings.

15. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. М.: Изд. Мир.

16. Международный стандарт ISO 1996/1,2,3. Акустика. Описание и измерение шума окружающей среды.

17. Осипов Г. Л. и др. Градостроительные меры борьбы с шумом. М.: Стройиздат, 1975.

18. МГСН 2.04-97. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях. М., 1997.

19. Международный стандарт ИСО 10847. Акустика. Определение в натурных условиях снижения внешнего шума экранами всех типов. (Acoustics- In - situ detesmination of insertion loss of out door noise bassievs of all types).

Приложение 3

Рекомендуемая форма технического задания на разработку шумозащитного экрана

«Согласовывается»
Исполнителем

«Утверждается»
Заказчиком

Техническое задание
на разработку средств придорожной шумозащиты

1. Наименование разработки _____
(Полное наименование разработки)
_____
_____

2. Исполнитель _____
(Полное наименование организации)
_____

3. Основание для разработки _____
_____
_____

4. Статус разработки _____
_____

5. Источники финансирования _____
_____

6. Исходные данные _____
(Ситуационный план района шумозащиты, характеристика
_____
геологической среды текущая и перспективная характеристики транспортных
_____
потоков и т. п.)
_____
_____

7. Основные требования к сооружению _____

(Задаются акустические,

_____

архитектурные, эксплуатационные и материаловедческие требования к элементам и

_____

шумозащитному сооружению в целом)

_____

_____

_____

8. Содержание и сроки выполнения разработки _____

(Указывается перечень

_____

работ, которые должен выполнить Исполнитель; начало и окончание разработки)

_____

_____

_____

9. Конкретный результат разработки и порядок ее реализации

_____

(Указывается объем проектной документации)

_____

_____

10. Условия приемки разработки _____

_____

_____

Подписи

От Исполнителя от Заказчика

_____ _____

Приложение 4.

Рекомендуемая форма акустического обоснования мероприятий на этапе проектирования шумозащитных средств

«Утверждается»
Исполнителем

Акустическое обоснование

шумозащитного экрана _____

(Указывается место установки шумозащитного экрана)

_____

1. Характеристика акустической среды в районе сооружения экрана

_____

_____

(Расчет, натурные измерения ожидаемых уровней шума на селитебной территории и

_____

в помещениях района шумозащиты)

_____

_____

_____

2. Обоснование геометрических параметров шумозащитного экрана

_____

_____

(Проводится на основе расчета требуемого снижения шума экраном с учетом

_____

шумопоглощения)

_____

_____

3. Обоснование архитектурного облика экрана _____

_____

_____

_____

4. Обоснование акустических параметров элементов экрана (панелей, фундамента, стоек) _____

5. Прогнозная оценка акустической эффективности сооружаемого шумозащитного экрана

6. Требования к материально-технической базе для обеспечения требуемой акустической эффективности шумозащитного экрана

Подписи

От Исполнителя

от Заказчика

Приложение 5

Акустическое обоснование применения шумозащитного экрана

Пример расчета

Целью настоящей работы является расчет вариантов размещения шумозащитных экранов, предназначенных для защиты от транспортного шума территории населенного пункта Мушковичи, и определение их генеральных размеров по условиям максимальной эффективности шумозащиты.

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

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

Для получения более точных результатов расчета эффективности экрана автотранспортные потоки в противоположных направлениях рассматриваются как самостоятельные источники шума.

Формирование шумового режима в области звуковой тени за экраном определяется дифракционной составляющей, которая существенно зависит от расстояния между источником шума и экраном, и, следовательно, чем ближе к действительному положению вещей используемая модель расчета, тем точнее его результат.

При расчете дифракционной компоненты поля за экраном автотранспортный поток моделируется «звучащей» ниткой, располагающейся на дальней (от экрана) полосе движения.

Конструкции отдельных элементов экранов должны обеспечивать плотное их примыкание друг к другу и к поверхности земли.

Шумовая характеристика автотранспортного потока

Автодорога Москва-Смоленск на данном участке прямолинейная, с небольшим продольным уклоном 0,5-1%, имеет по 2 полосы движения в каждом направлении (рис. 1). Посредине дороги проходит разделительная полоса шириной 2,5 м, оснащенная разделительным барьером. Ширина одной полосы движения составляет 3,8 м. Общая ширина дороги 17,7 м. По краям дорожного полотна имеются обочины шириной по 5,6 м.

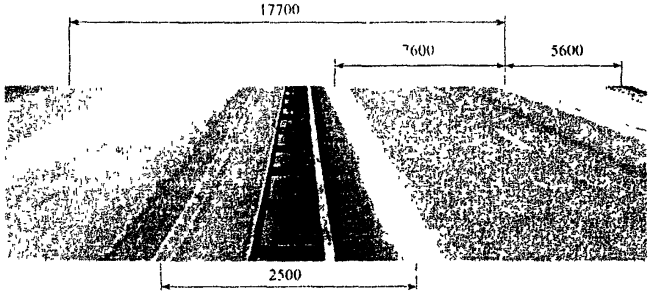


Рис. 1. Схема поперечного профиля полотна дороги

С правой стороны (при движении из Москвы) на расстоянии 58 м от границы обочины расположен первый эшелон жилых зданий, представляющих собой одноэтажные деревянные дома деревенского типа (рис. 2).



Рис. 2. Вид участка автодороги Москва – Смоленск в районе нас. п. Мушковичи

Протяженность этого эшелона вдоль дороги составляет около 350 м. Второй эшелон жилой застройки расположен на расстоянии около 200 м от дороги и с нее не просматривается, ввиду сложного профиля местности, поэтому как объект шумозащиты он не рассматривался. Остальные здания вдоль указанного участка дороги являются нежилыми и как объект шумозащиты не рассматриваются.

Ситуационный план рассматриваемого участка дороги и прилегающей к ней застройки населенного пункта Мушковичи показан на рис. 3.

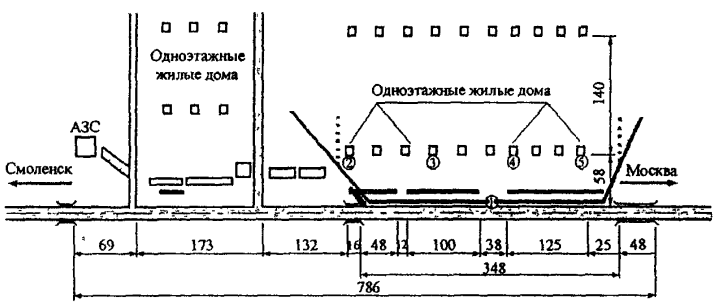


Рис. 3. План размещения придорожных объектов в населенном пункте Мушковичи

Для определения шумовых характеристик автотранспортного потока на данном участке автодороги Москва – Смоленск (эквивалентного и максимального уровней звука в 7,5 м от оси ближайшей полосы движения транспорта и на высоте 1,5 м над уровнем проезжей части) ДГУП ИТЦ были проведены в марте 2003 г. натурные измерения. Измерения выполнялись в соответствии с методикой ГОСТ 20444-85 [1]. Для измерений применялся шумомер фирмы «Октава» типа «Октава 101А» № 01А016 (свидетельство о госповерке № 232/2002 до 01.04.03). Перед началом и после окончания каждой серии измерений шумомер калибровался с помощью акустического калибратора.

Измерения шумовых характеристик транспортного потока проводились в дневное время в часы пик. Погода во время

измерений была ясная, безветренная, без осадков. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений уровней шума

№ п/п	Место проведения измерений	Интенсивность автотранспортного потока $N_{дн}$ в дневной час пик	Уровни шума		
			$L_{Аэкв}$	$L_{Амакс}$	$L_{Амин}$
1.	В 7,5 м от оси первой полосы движения транспорта (т.1 на рис.1)	477	76,7	88,9	52,7
2.	В 12 м от фасада жилого дома (т.2 на рис.1)	438	57,3	66,2	38,5
3.	В 12 м от фасада жилого дома (т.3 на рис.1)	531	58,1	67,5	39,4
4.	В 15 м от фасада жилого дома (т.4 на рис.1)	498	60,0	70,8	46,2
5.	В 15 м от фасада жилого дома (т.5 на рис.1)	475	61,4	76,8	41,2

В строке 1 табл. 1 содержится шумовая характеристика транспортного потока в час пик [1], равная: $L^{дн}_{Аэкв\ авт.}$ =76,7 дБА, $L_{Амакс}$ = 88,9 дБА.

Таблица 2

Замеренные уровни шума на прилегающей территории, дБА

Источник шума	Расчетные точки			
	2	3	4	5
Автомагистраль, $L_{экв}$	57,3	58,1	60,0	61,4

Значения превышений замеренных уровней шума над допускаемыми санитарными нормами на прилегающей территории приведены в табл. 3

Таблица 3

Превышение расчетных уровней звука над допустимыми санитарными нормами

Источник шума	Расчетные точки			
	2	3	4	5
Автомагистраль, $L_{экв}$	2,3	3,1	5,0	6,4

Анализ полученных данных указывает на наличие превышений уровней шума над допустимыми санитарными нормами на территории нас. п. Мушковичи. Для улучшения акустической обстановки и удовлетворения санитарных требований необходимо проведение акустическо-строительных мероприятий по снижению уровня шума на территории. Наиболее эффективным мероприятием является установка шумозащитного экрана.

В ночной период суток интенсивность автотранспортного движения ($N_н$). по данным многочисленных натурных измерений, проводившихся ранее на различных дорогах и по данным института «Союздорпроект», составляет не более 10% от дневной интенсивности в час пик при тех же значениях соотношения количества грузовых автомобилей и автобусов к общему количеству автомобилей в транспортном потоке (P) и средней скорости потока (V).

При этих условиях ожидаемая шумовая характеристика автотранспортного потока на рассматриваемом участке автодороги Москва – Смоленск в ночное время будет равна в соответствии с [2]:

$$L^{н}_{Аэкв.авт.} = 10\lg N_{н} + 13{,}3 \lg V + 4 \lg (1+P) + 17{,}9 =$$
$$= 10 \lg (0{,}1\ N_{дн}) + 13{,}3 \lg V + 4 \lg (1+P) + 17{,}9 =$$
$$= L^{дн.}_{Аэкв\ авт} - 10, \text{ дБА.} \qquad (1)$$

Так как разность между шумовой характеристикой автотранспортного потока в дневное и ночное время, согласно формуле (1), равна 10 дБА, а разность между допустимым уровнем звука в жилой застройке и на селитебных территориях в дневное и ночное время

также равна 10 дБА [3], то достаточно рассмотреть данные только для дневного периода суток. Полученные выводы и рекомендации относительно ожидаемых уровней автотранспортного шума и мероприятий по его снижению будут справедливы и для ночного периода суток.

Так как разница между допустимыми максимальным и эквивалентным уровнями шума по санитарным нормам [3] составляет 15 дБА, а по результатам натурных измерений она составила $\Delta L = L_{A\,макс} - L_{A\,экв} = 88,9 - 76,7 = 12,2$ дБА < 15 дБА, то достаточно рассмотреть только эквивалентные уровни шума; рассмотрение максимальных уровней шума для данной ситуации не внесло бы никаких корректив в оценку шумовой ситуации и в намечаемые шумозащитные мероприятия.

С учетом того, что все дома первого эшелона застройки расположены на одинаковом расстоянии от дороги, достаточно выбрать одну расчетную точку для оценки ожидаемого шумового режима на фасадах жилых домов в 2 м от фасадов домов, обращенных к дороге, и на уровне середины окон 1-го этажа. Высота этой расчетной точки над уровнем территории составляет $H_{р\,т\,фас} = 2$ м. Для оценки ожидаемого шумового режима внутри жилых помещений домов расчетная точка выбиралась в центре помещения на высоте $H_{р\,т} = 1,5$ м над уровнем пола [4].

В соответствии с [5], ожидаемый уровень шума в расчетной точке составляет

$$L_{Apm} = L_{Аэкв\,авт} - \Delta L_{A\,рас} - \Delta L_{A\,воз} - \Delta L_{A\,пок} - \Delta L_{Азел} - \Delta L_{Аэкр} - \Delta L_{Aα}, \text{ дБА}, \qquad (2)$$

где $L_{Аэкв\,авт}$ – шумовая характеристика транспортного потока на рассматриваемом участке автодороги;

$\Delta L_{A\,рас}$ – снижение уровня шума с расстоянием;

R – расстояние от оси ближней полосы движения транспорта до расчетной точки, м;

$\Delta L_{A\,воз}$ – снижение уровня шума вследствие затухания звука в воздухе ($\Delta L_{A\,воз} = 0,005R$);

$\Delta L_{А\,пок}$ – снижение уровня шума вследствие его поглощения поверхностью территории (трава, кустарник – летом, снег – зимой);

$\Delta L_{Азел}$ – снижение уровня шума из-за поглощения его полосами зеленых насаждений на пути звуковых лучей;

$\Delta L_{Аэкр}$ – снижение уровня шума экраном или экранирующими элементами местности;

$\Delta L_{A\alpha}$ – снижение уровня шума в случае ограничения угла видимости дороги из расчетной точки.

Для рассматриваемого населенного пункта величина $\Delta L_{Азел} = 0$ (нет специальных шумозащитных полос зеленых насаждений).

$\Delta L_{А\,экр} = 0$ (первоначально нет экранов).

$\Delta L_{A\alpha} = 0$ (обзор дороги из расчетной точки неограничен, α=180°).

Величина $\Delta L_{А\,пок}$, в соответствии с [5], равна:

$$\Delta L_{А\,пок} = 6\lg\left(\frac{\sigma^2}{1+0{,}01\cdot\sigma^2}\right), \qquad (3)$$

где

$$\sigma = \frac{1{,}4\cdot R\cdot 10^{-0{,}3\,(H_{и.ш.}-1)}}{10\cdot H_{р\,т.}} \qquad (4)$$

R – то же, что и в формуле (2), м.;

$H_{и\,ш}$ – высота акустического центра транспортного потока над проезжей частью, м, (согласно [5], принято $H_{и\,ш}$=1 м.);

$H_{р\,т}$ – высота расчетной точки над уровнем территории, м.

Так как шумовая характеристика транспортного потока при прочих равных условиях пропорциональна 10lg N (см. формулу 1), то для случаев 2-5 по табл. 1 можно найти:

1. $L^{дн.}_{Аэкв\ авт.}$ =76,7 дБА, $L_{Амакс}$ = 88,9 дБА;
2. $L^{дн.}_{Аэкв\ авт.}$ =76,3 дБА, $L_{Амакс}$ = 88,5 дБА;
3. $L^{дн.}_{Аэкв\ авт}$ =77,2 дБА, $L_{Амакс}$ = 89,4 дБА;
4. $L^{дн.}_{Аэкв\ авт}$ =76,9 дБА, $L_{Амакс}$ = 89,1 дБА;
5. $L^{дн}_{Аэкв.авт.}$ =76,7 дБА, $L_{Амакс}$ = 88,9 дБА .

Разброс значений $L^{дн}_{Аэкв.авт.}$ не превышает 0,9 дБА. Поэтому для расчетов принимаем наибольшее экспериментальное значение $L^{дн}_{Аэкв\ авт}$ =77,2 дБА ($L_{Алакс}$ = 89,4 дБА).

Из анализа рис. 1, 2, 3 следует, что расстояние (R) равно 63,5 м (R = 63,5м).

Тогда $\Delta L_{А\ воз}$ =0,005·R = 0,005·63,5 = 0,3 дБА.

На основании формул (4) и (3)

$$\sigma = \frac{1{,}4 \cdot 63{,}5 \cdot 10^{-0{,}3(1-1)}}{10 \cdot 2} = 4{,}4;$$

$$\Delta L_{Апок} = 6 \lg\left(\frac{4{,}4^2}{1 + 0{,}01 \cdot 4{,}4^2}\right) = 7{,}3 \quad \text{дБА}.$$

Запишем в виде

$$\Delta L_{Арас} = K \cdot \lg\left(\frac{R}{7{,}5}\right).$$

Тогда формулу (2) можно переписать в виде.

$$L^{фас}_{Ар\ т} = L^{дн}_{Аэкв\ авт} - K \cdot \lg\left(\frac{R}{7{,}5}\right) - 0{,}3 - 7{,}3 = 69{,}6 - K \lg\left(\frac{R}{7{,}5}\right) \text{ дБА}. \quad (5)$$

Для определения коэффициента (К) поступим следующим образом. Подставим в формулу (5) вместо $L^{фас}_{Ар\ т.}$ значения $L_{Аэкв}$ по табл. 1, а вместо R – значения, определенные в соответствии с табл. 1 и рис. 3. Тогда на основании (5) можно получить

$$K \cdot \lg\left(\frac{R}{7{,}5}\right) = 69{,}6 - L_{Аэкв}$$

Отсюда для позиций 2-5 табл. 1 получим

Поз. 2: $K \cdot \lg\left(\frac{53{,}5}{7{,}5}\right) = 69{,}6 - 57{,}3 = 12{,}3$; К = 14,4.

Поз. 3: $K \cdot \lg\left(\frac{53{,}5}{7{,}5}\right) = 69{,}6\text{-}58{,}1 = 11{,}5$; К = 13,5.

Поз.4· $K \cdot \lg\left(\frac{50{,}5}{7{,}5}\right) = 69{,}6 - 60 = 9{,}6$, К = 11,6.

Поз. 5: $K \cdot \lg\left(\frac{50,5}{7,5}\right) = 69,6 - 61,4 = 8,2$; К = 9,9.

$$K_{ср.} = \frac{14,4+13,5+11,6+9,9}{4} = 12,3.$$

Из рис. 3 следует, что расстояние от оси первой полосы движения транспорта до расчетной точки в 2 м от фасада дома составляет 63,5 м. С учетом Кср. из формулы (5) получим

$$L_{Ap.m}^{фас} = 69,6 - 12,3 \lg\left(\frac{63,5}{7,5}\right) = 58,2 \text{ дБА.}$$

Так как, согласно [3], допустимый уровень шума для территорий, непосредственно прилегающих к жилым домам, составляет в дневное время $L_{Аэкв.доп.}^{тер}$ = 55 дБА, то превышения фактических уровней шума у фасадов жилых домов населенного пункта Мушковичи составляют

$$\Delta L_{Апрев}^{фас} = 58,2\text{-}55 = 3,2 \text{ дБА}$$

Согласно [6], ожидаемые уровни шума в расчетной точке внутри жилых помещений домов первого эшелона застройки составляют

$$L_{Ap\,m.}^{пом} = L_{Ap.m.}^{фас} - \Delta L_{Аок}, \text{дБА}, \qquad (6)$$

где $\Delta L_{Аок}$ – снижение шума окном с открытой для вентиляции форточкой (узкой створкой, фрамугой). Согласно [6], $\Delta L_{Аок}$ = 10 дБА. Тогда

$$L_{Ap\,m}^{пом} = 58,2 - 10 = 48,2 \text{ дБА.}$$

Согласно [3], допустимый уровень шума в жилых помещениях домов в дневное время составляет $L_{Аэкв\,доп.}^{пом}$ = 40 дБА. Поэтому ожидаемые превышения уровней шума внутри жилых помещений домов составят

$$\Delta L^{ночь}_{Апрев} = 48{,}2 - 40 = 8{,}2 \text{ дБА}.$$

Таким образом, результаты измерений и расчетов говорят о необходимости осуществления шумозащитных мероприятий.

Для выполнения санитарных норм по шуму в помещениях жилых домов населенного пункта Мушковичи и на прилегающей к ним территории необходимо соорудить вдоль рассматриваемого участка автодороги Москва-Смоленск шумозащитный экран, снижающий шум от транспортного потока на автодороге не менее чем на 9 дБА.

Расчет акустической эффективности шумозащитного экрана, выполненный в соответствии с методикой раздела 4 из [5], приведен ниже.

Перед расчетом акустической эффективности экрана необходимо было выбрать его месторасположение. Известно, что чем ближе расположен экран к источнику шума, тем выше его эффективность и ниже требуемая высота. Исходя из этого, а также из анализа профиля территории, рекомендуется расположить шумозащитный экран на расстоянии 2 м от границы полосы движения, ближайшей к защищаемой застройке. Схема расположения экрана с указанием необходимых расстояний приведена на рис. 4.

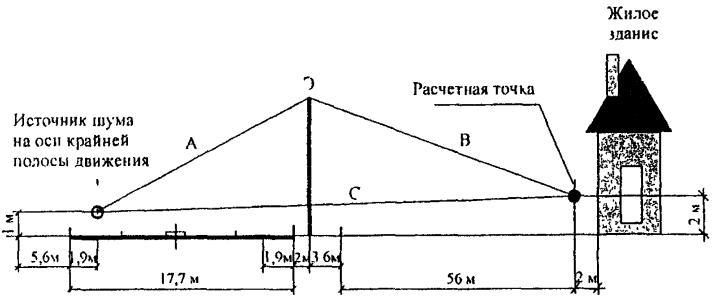


Рис. 4. Расчетная схема оценки эффективности шумозащитного экрана

Вначале были рассчитаны вспомогательные расстояния А, В и С:

$$A = \sqrt{R_1^2 + (H_э - H_{и ш})^2}, м \quad (7)$$

$$B = \sqrt{R_2^2 + (H_э - H_{р.т})^2}, м, \quad (8)$$

$$C = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (H_{р.т} - H_{и ш})^2}, м, \quad (9)$$

где R_1 – расстояние по горизонтали от акустического центра транспортного потока (по оси дальней полосы движения транспорта и на высоте 1 м над уровнем проезжей части) до экрана, м,

R_2 – расстояние по горизонтали от экрана до расчетной точки, м,

$H_э$ – высота экрана, м,

$H_{и ш}$ – высота акустического центра транспортного потока, м,

$H_{р.т}$ – высота расчетной точки, м.

Далее определялась разность длин путей звуковых лучей δ :

$$\delta = A + B - C, м \quad (10)$$

и по ней с помощью графика на рис. 6 из [5] определялось искомое снижение шума экраном.

При расчетах высота экрана ($H_э$) задавалась в пределах от 3 до 6 м.

$H_э$ = 3 м:

$$A = \sqrt{17{,}8^2 + (3-1)^2} = 17{,}91 м;$$

$$B = \sqrt{59{,}6^2 + (3-2)^2} = 59{,}61 м;$$

$$C = \sqrt{77{,}4^2 + (2-1)^2} = 77{,}41 м;$$

$$\delta = A + B - C = 17{,}91 + 59{,}61 - 77{,}41 = 0{,}11 м;$$

$$\Delta L_{Аэкв} = 8 дБА.$$

$H_э$ = 4 м:

$$A = \sqrt{17{,}8^2 + (4-1)^2} = 18{,}05\text{м};$$

$$B = \sqrt{59{,}6^2 + (4-2)^2} = 59{,}63\text{м};$$

$$C = \sqrt{77{,}4^2 + (2-1)^2} = 77{,}41\text{м};$$

$$\delta = A + B - C = 18{,}05 + 59{,}63 - 77{,}41 = 0{,}27\text{м};$$

$$\Delta L_{Аэкв.} = 10{,}5\text{дБА}.$$

$H_э$ = 5 м:

$$A = \sqrt{17{,}8^2 + (5-1)^2} = 18{,}24\text{м};$$

$$B = \sqrt{59{,}6^2 + (5-2)^2} = 59{,}67\text{м};$$

$$C = \sqrt{77{,}4^2 + (2-1)^2} = 77{,}41\text{м};$$

$$\delta = A + B - C = 18{,}24 + 59{,}67 - 77{,}41 = 0{,}5\text{м};$$

$$\Delta L_{Аэкв} = 12\text{дБА}.$$

$H_э$ = 6м:

$$A = \sqrt{17{,}8^2 + (6-1)^2} = 18{,}49\text{м};$$

$$B = \sqrt{59{,}6^2 + (6-2)^2} = 59{,}73\text{м};$$

$$C = \sqrt{77{,}4^2 + (2-1)^2} = 77{,}41\text{м};$$

$$\delta = A + B - C = 18{,}49 + 59{,}73 - 77{,}41 = 0{,}81\text{м};$$

$$\Delta L_{Аэкв} = 18{,}5\text{дБА}.$$

Из анализа расчетов следует, что необходимое снижение шума обеспечивается уже при высоте экрана, равной $H_э$ = 4 м ($\Delta L_{Аэкр}$ = 10,5 дБА> 9дБА = $\Delta L_{Аэкр\ тер}$).

Однако следует учесть, что вышеприведенные результаты измерений шума получены в марте. В летний период года интенсивность автомобильного потока может значительно возрасти (приблизительно вдвое). Тогда требуемое снижение шума экраном составит: 8,2 дБА + 10lg2 = 11,2 Н ≈12 дБА. В этом случае потребуется экран высотой Нэ = 5 м.

При экране высотой Нэ = 6 м снижение шума экраном составит 18,5 дБА, что значительно больше требуемого по расчету снижения.

Таким образом, с экономической точки зрения наиболее целесообразным, а с акустической точки зрения вполне достаточным является сооружение экрана высотой 5 м, расположенного на расстоянии 2 м от границы полосы движения, наиболее близкой к защищаемым от шума домам.

Длина экрана должна составлять L = 348 м (параллельно дороге). Для защиты от шума крайних домов первого эшелона застройки по краям указанного участка экрана должны быть установлены боковые отгоны (тот же экран, но расположенный под углом к дороге).

Правый отгон должен быть расположен под углом примерно 45° к оси основной части экрана и иметь длину $L_{бок\ пр}$ = 100 м.

Левый отгон должен быть расположен под углом примерно 50° к оси основной части экрана так, чтобы не пересекать трассы прохождения силового электрического кабеля, и иметь длину $L_{бок\ лев}$ = 100 м.

Боковые отгоны возможно выполнить с «изломом» в плане (варианты I и II на рис. 5).

На рисунке синим цветом обозначена трасса прохождения шумозащитного экрана (вариант I). Синим пунктиром обозначен вариант прохождения боковых отгонов с «заломом» (вариант II).

Таким образом, общая длина экрана должна составлять

$L_{э\ общ}$ = 348 + 100 + 100 = 548 м, при I-м варианте (боковые отгоны прямые), или

$L_{э\ общ}$ = 348 + 85 + 85 = 518 м, при II-м варианте (боковые отгоны с «изломом»).

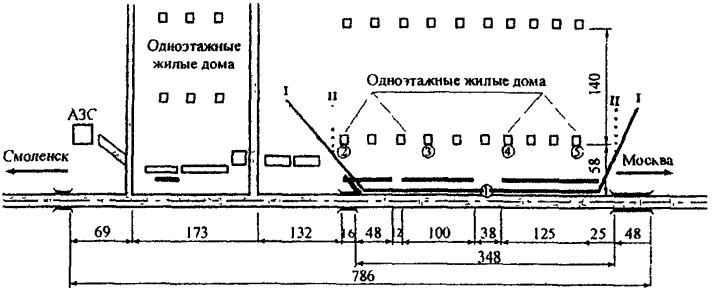


Рис. 5. Рекомендуемая схема размещения шумозащитного экрана

Акустическая эффективность шумозащитного экрана.

В результате проведенных акустических расчетов в контрольных расчетных точках получены следующие значения эквивалентных уровней звука на территории рассматриваемого объекта с учетом установки шумозащитных экранов вдоль автомагистрали (см. табл. 1.4).

Таблица 1.4

Расчетные уровни звука (дБА) на рассматриваемой территории при наличии шумозащитных экранов

Источник шума	Расчетные точки			
	2	3	4	5
Автомагистраль, $L_{экв}$	46,1	46,9	48,8	50,2

Величины превышений допустимых санитарных норм представлены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Превышение расчетных уровней звука над допускаемыми санитарными нормами при наличии шумозащитных экранов, дБА

Источник шума	Расчетные точки			
	2	3	4	5
Автомагистраль, $L_{экв.}$	-8,9	-8,1	-6,2	-4,8

Анализ полученных значений показывает, что установка шумозащитных экранов позволит снизить уровень шума от транспортных потоков на рассматриваемой территории до допустимых значений.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Основным источником внешнего шума, воздействующим на территорию жилой застройки и расположенные на ней жилые дома населенного пункта Мушковичи, является поток автомобилей по автодороге Москва – Смоленск (345-й км).

2. Шумовая характеристика автотранспортного потока на указанном участке автодороги составляет около 77 дБА в час пик дневного времени и 67 дБА в наиболее шумный час ночного времени. Максимальный уровень звука составляет около 90 дБА.

3. Расчеты показали, что ожидаемые уровни шума в расчетных точках в 2 м от фасадов жилых домов, обращенных к автодороге и наиболее близко к ней расположенных, будут превышать допустимый уровень на 3-4 дБА, а в помещениях жилых домов – на 8-9 дБА.

4. Для обеспечения выполнения требований санитарных норм по шуму необходимо осуществление шумозащитного мероприятия, в качестве которого рекомендуется сооружение вдоль вышеуказанного участка автодороги Москва – Смоленск в указанном районе шумозащитного экрана высотой 5 м, общей длиной вместе с боковыми отгонами 518 (548) м, в зависимости от конфигурации боковых отгонов. Длина экрана может уточняться на месте, но уменьшение протяженности экрана приведет к снижению эффективности экранирования на прилегающей территории.

Экран должен быть расположен в 2 м от границы крайней полосы движения, наиболее близкой к защищаемой от шума застройке.

5. При условии сооружения предлагаемого экрана ожидаемый шумовой режим в жилых помещениях домов и на придомовых территориях населенного пункта Мушковичи будет удовлетворять требованиям санитарных норм (СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки).

Список принятых обозначений

L – уровень шума, дБ

L_i – уровень звукового давления в *i*-й полосе частот, дБ

L_{pi} – уровень звуковой мощности в *i*-й полосе частот, дБ

L_A – уровень звука с использованием частотной коррекции *A*, дБА

$\Delta L_{сум\ тр i}$ – оценка соответствия суммарного шума (от всех источников постоянной интенсивности) в *i*-й полосе частот нормативным требованиям, дБ

$L_{сумi}$ – суммарный уровень звукового давления (от всех источников постоянной интенсивности) в *i*-й полосе частот, дБ

N, n, n_i – число источников

$L_{допi}$ – допустимый уровень звукового давления в *i*-й полосе частот, дБ

$\Delta L_{Асум\ тр.}$ – ориентировочная оценка соответствия суммарного шума (от всех источников) с использованием частотной коррекции А нормативным требованиям, дБА

$L_{Асум}$ – суммарный уровень звукового давления (от всех источников) с использованием частотной коррекции *A*, дБ

$L_{Адоп}$ – допустимый уровень звука с использованием частотной коррекции А, дБА

L_{Ai} – относительная частотная характеристика коррекции *A* в *i*-й полосе частот

L_{Aj} – уровень звука j-го источника с использованием частотной коррекции *A*, дБА

$\Delta L_{Амакс\ сум\ тр}$ – оценка соответствия суммарного шума (от всех источников непостоянного шума) с использованием частотной коррекции А нормативным требованиям, дБА

$L_{Аэкв\ сум}$ – суммарный уровень звука (от всех источников непостоянного шума) с использованием частотной коррекции *A*, дБА

$\Delta L_{Амакс.\ тр}$ – оценка соответствия максимального уровня звука (от *i -го* источника непостоянного шума) с использованием частотной коррекции *А* нормативным требованиям, дБА

$L_{Амакс.}$ – уровень максимального шума (от *i-го* источника непостоянного шума) с использованием частотной коррекции *А,* дБА

$L_{макс\ доп}$ – допустимый уровень максимального шума, дБ

Φ – фактор направленности источника шума

$\beta_а$ – затухание звука в воздухе, дБ/км

Ω – пространственный угол излучения звука, ср

r – расстояние от источника шума до расчетной точки, м

B – постоянная помещения, м^2

$\Delta L_и$ – показатель направленности источника, дБ

$\Delta L_{Аэкр}$ – снижение уровня звука экранами, дБА

$\Delta L_{Арас}$ – снижение уровня звука, зависящее от расстояния распространения, дБА

$\Delta L_{Азел}$ – снижение уровня звука зелеными насаждениями, дБА

$\Delta L_А$ – снижение уровня звука, вызванное ограниченностью угла видимости источника, дБА

Подписано в печать 16.06.2003 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд.л. 5,3. Печ.л. 6,0. Тираж 400. Изд. № 587. Ризография № 258

Адрес ГП "Информавтодор":
129085, Москва, Звездный бульвар, д. 21, стр. 1
Тел. (095) 747-9100, 747-9181 Тел./факс: 747-9113
e-mail: gost.e-ecolog.ru
Сайт: gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru