

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.М. ПАРАХИН

ШУМ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2019

УДК 625.098(075.8)
П18

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *М.Д. Горбатенков*
зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности и физвоспитания
Новосибирского технического института (филиал) РГУ
им. А.Н. Косыгина, канд. техн. наук, доцент *О.В. Тихонова*

Парахин А.М.

П18 Шум транспортных потоков: учебное пособие / А.М. Парахин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 62 с.

ISBN 978-5-7782-4034-6

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 20.30.01 «Техносферная безопасность». В пособии рассмотрены вопросы анализа и расчета шума, создаваемого транспортными потоками в производственных и жилых зонах населённых пунктов. Изложенный материал может быть использован при изучении студентами соответствующих разделов дисциплин «Производственная санитария и гигиена труда», «Источники загрязнения среды обитания».

Работа подготовлена на кафедре безопасности труда

УДК 625.098(075.8)

ISBN 978-5-7782-4034-6

© Парахин А.М., 2019
© Новосибирский государственный
технический университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Рост использования автомобилей влечет за собой отрицательные последствия. При значительном увеличении масштабов и темпов автомобилизации возникает ряд серьезных проблем, связанных с вредными для окружающей среды и общества последствиями, которые сопровождают этот процесс.

Транспортный шум является одним из наиболее опасных параметрических загрязнений. Не случайно эта проблема находится в поле зрения специалистов, занятых в автомобилестроении, в сфере эксплуатации автомобильного транспорта, организации дорожного движения и в строительстве: 60–80 % шумов, настигающих человека в жилой застройке, создают транспортные потоки. В условиях, когда масштабы автомобильного движения возрастают, зоны акустического дискомфорта значительно увеличиваются, проблема транспортного шума приобретает социальное значение.

В учебном пособии рассматривается загрязнение окружающей среды – шумовое загрязнение. Автомобильный транспорт, интенсивность движения которого постоянно растет, является одним из главных источников шума в городе.

Транспортный поток (его интенсивность, скорость, состав) формирует уровень уличного шума. Он также зависит от того, как спроектирована дорога, покрытия проезжей части, степени и наличия зеленых насаждений. Все эти факторы в сумме могут изменять уровень шума.

Транспортный поток состоит из трех видов машин: легкового, грузового дизельного и грузового карбюраторного. В зависимости от величины и урбанизированности города, меняется процентное соотношение транспорта. В промышленно развитых городах очень высок процент грузового транспорта, что приводит к увеличению уровня шума. Грузовые автомобили создают тяжелую шумовую обстановку в городе.

Поток автомобилей необходимо рассматривать как отдельный самостоятельный объект. Это позволит объективно оценивать его влияние на человека и окружающую среду в целом.

Загрязнение окружающей среды транспортными средствами формируется при движении их в транспортном потоке. Именно поэтому в транспортном потоке можно выяснить эффективность всех проводимых мероприятия по охране окружающей среды. Этот поток рассматривается, как сумма воздействий одиночных автомобилей на окружающую среду.

Определение эффективности борьбы с шумом автомобилей методами организации дорожного движения требует выявления возможностей снижения этих уровней путем проведения тех или иных мероприятий.

Источниками шума в движущемся автомобиле являются поверхности силового агрегата – двигателя, системы впуска и выпуска, поверхности агрегатов, трансмиссии. Шум возникает также при взаимодействии кузова автомобиля с потоком воздуха при движении, взаимодействии шин с покрытием дороги, колебания элементов подвески и кузова от возмущений дороги.

Экологическая безопасность одиночного автомобиля, рассматриваемая по создаваемому им уровню шума, определяется не только его конструкцией, но и режимом движения.

1. СВЕДЕНИЯ ОБ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ШУМА

Распространяясь в пространстве, звуковые волны образуют звуковое поле, т.е. сгущения и разрежения, которые создают добавочные изменения давления по отношению к среднему значению давления в среде. Мгновенное звуковое давление – это разность полного давления в некоторой точке среды в определенный момент времени и статического давления в той же точке. В основном в расчетах используется эффективное звуковое давление (Рэф), которое представляет собой среднеквадратичное значение мгновенного звукового давления.

Звук воспринимаемый человеком зависит от его частоты, от звукового давления и интенсивности. Существует порог слышимости, это наименьшее звуковое давление P_0 и интенсивность I_0 , воспринимаемые человеком. Пороговые значения I_0 и P_0 зависят от частоты звука. При частоте 1000 Гц звуковое давление $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па, $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м². При звуковом давлении $2 \cdot 10^2$ Па и интенсивности звука 10 Вт/м² возникают болевые ощущения (болевой порог).

Область слышимости располагается между порогом слышимости и болевым порогом. Разница между порогом слышимости и болевым порогом очень велика. Для того, чтобы не оперировать большими числами, ученый А.Г. Белл предложил использование логарифмической шкалы. Логарифмическая величина, характеризующая интенсивность шума или звука, получила название уровня интенсивности L шума или звука, которая измеряется в безразмерных единицах белх (Б).

$$L = \lg \left(\frac{I}{I_0} \right), \quad (1.1)$$

где I – интенсивность звука в данной точке; I_0 – интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости.

Большее распространение получила единица децибел (дБ).

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \lg \frac{P}{P_0} = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \quad (1.2)$$

где P_0 – пороговое звуковое давление.

Шум, как совокупность звуков, характеризуется количественно и качественно соответственно двумя основными показателями:

- 1) уровнем звукового давления или уровнем интенсивности;
- 2) спектром, т. е. совокупностью частот звуков, составляющих шум.

Спектр шума (20–20000 Гц) поделен на отдельные участки, так называемые октавы. Октава представляет собой полосу частот, в которой конечная частота в 2 раза больше начальной:

$$f_k = 2f_n, \quad (1.3)$$

где f_k – это конечная частота; f_n – это начальная частота.

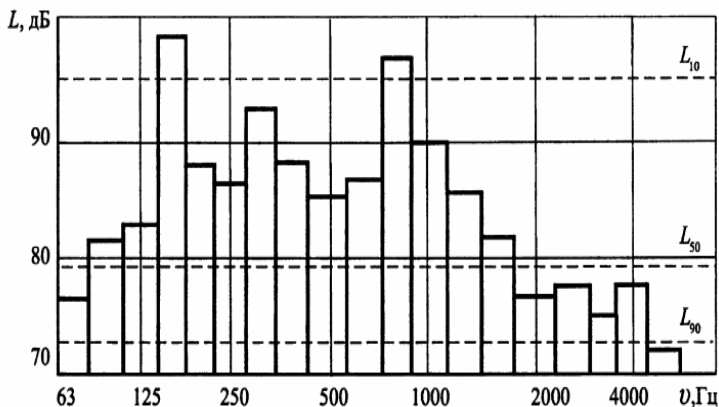


Рис. 1. Спектр шума легкового автомобиля при движении в режиме разгона

В технике и гигиене принято рассматривать восемь октав со средне-геометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

По частотной характеристике различают:

1) тональный шум (в спектре которого имеются ярко выраженные дискретные тона, т.е. уровень в одной октаве на 10 дБ выше, чем в других);

2) широкополосный шум (с непрерывным спектром более одной октавы).

Примером широкополосного шума является шум, издаваемый автомобилем и транспортным потоком.

Спектр шума легкового автомобиля в режиме разгона до 60 км/ч со средним ускорением 0,8 м/с в полосах частот, равных 1/3 октавы, представлен на рис. 1

2. ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ШУМА. ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ ШУМА

Для защиты людей от вредного влияния городского шума необходима регламентация его времени действия, спектрального состава, интенсивности и других параметров. При гигиеническом нормировании в качестве допустимого устанавливают такой уровень шума, при воздействии которого в течение длительного времени не происходят изменения физиологических показателей, отражающих реакции на шум систем организма.

В основу гигиенически допустимых уровней шума для населения положены фундаментальные исследования по определению действующих и пороговых уровней шума. В настоящее время нормирование шума в условиях городской застройки осуществляется в соответствии с Санитарными нормам 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки» [1] и Строительными нормами и правилами 23-03–2003 «Защита от шума». [2] Санитарные нормы обязательны к исполнению. Все министерства, различные организации и ведомства, проектирующие, строящие и эксплуатирующие жилье и общественные здания, разрабатывающие проекты, планировки и застройки городов, жилых домов, микрорайонов, кварталов, коммуникаций обязаны соблюдать санитарные нормы.

Одним из направлений борьбы с шумом является разработка государственных стандартов на транспорт, различное инженерное оборудование, бытовые приборы и т. д., которые основываются на требовании по обеспечению акустического комфорта.

ГОСТ 20444–2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики» устанавливает шумовые характеристики, а также методы их измерения, допустимые уровни шума транспортных средств.

Необходимость разработки технических, административных и архитектурно-планировочных мероприятий, направленных на создание шумового режима, отвечающего гигиеническим требованиям, обусловленная санитарными нормами допустимого шума как в жилой застройке, так и в зданиях различных назначений, позволяет сохранить здоровье и работоспособность населения.

На рабочих местах, в жилых помещениях, общественных зданиях и территории жилой застройки для определения допустимого уровня шума необходимо использовать санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Нормирование шума звукового диапазона осуществляется двумя методами:

- нормирование по предельному спектру уровня шума;
- нормирование уровня звука в дБА.

Таблица 1

Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки[1]

Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Уровень звукового давления L , дБА, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)	Максимальный уровень звука L_{Amax} , дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Жилые комнаты квартир	7.00–23.00	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
	23.00–7.00	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	7.00–23.00	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
	23.00–7.00	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
Территории, прилегающие к жилым зданиям, домам отдыха и т. д.	7.00–23.00	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
	23.00–7.00	83	67	57	49	44	40	37	35	33	54	60

Первый метод является основным для постоянных шумов. Он устанавливает предельно допустимые уровни (ПДУ) в девяти октавных полосах со среднегеометрическими значениями частот 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Второй метод применяют в основном для нормирования непостоянных шумов и в тех случаях, когда не известен спектр реального шума. Нормируемым показателем в этом случае является эквивалентный уровень звука широкополосного постоянного шума, который оказывает на человека такое же влияние, как и реальный непостоянный шум, измеряемый по шкале А шумомера.

3. РАСЧЕТ ШУМА, СОЗДАВАЕМОГО АВТОМОБИЛЯМИ

3.1. СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ШУМА ПОТОКОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Пространство, в котором существует или распространяется звуковая волна, является звуковым полем. Изменение физического состояния среды в звуковом поле, обусловленное наличием звуковых волн, характеризуется обычно звуковым давлением p , т. е. разностью между значением полного давления и средним давлением, которое обычно наблюдается в среде при отсутствии звуковых волн.

При изменении звукового давления от минимального $P_{\min}$ до максимального $P_{\max}$ оценивают не мгновенное значение давления, а среднее квадратическое за период колебаний. Единицей измерения давления является паскаль (Па), численно равный давлению в 1 Н/м^2 .

Гигиеническая оценка непостоянного шума является сложной задачей с учетом различий субъективного восприятия человеком шума и объективного его воздействия на организм. При этом с точки зрения объективного воздействия на здоровье предпочтение отдается эквивалентному уровню шума $L_{\text{экв}}$. Он представляет собой уровень постоянного шума, при котором за данный отрезок времени T выделяется такая же энергия, что и при непостоянном шуме за тот же промежуток времени:

$$L_{\text{экв}} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L_t} (dt) \right]. \quad (3.1)$$

Этот критерий рекомендован для использования международной организацией по стандартизации (ISO). Этот же критерий принят в РФ для

оценки транспортного шума (ГОСТ 20444–2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы измерений шумовой характеристики»).

Таким образом, воздействие шума, создаваемого транспортными потоками, оценивают по значению эквивалентного уровня $L_{\text{ЭКВ}}$, дБА с частотной корректировкой по характеристике А.

Уровень шума L , дБА, представляет собой характеристику, получаемую в результате умножения на 10 логарифма отношения интенсивности звуковой энергии I Вт/м² в точке измерения к эталонной интенсивности $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², интенсивности наиболее тихого звука, доступного восприятию человека на частоте 1000Гц:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}. \quad (3.2)$$

Преобразуем выражение (3.2), подставив значение $I_0 = 10^{-12}$:

$$L = 10 \lg I - 10 \lg I_0 = 10 \lg I + 120.$$

Интенсивность звуковой энергии в точке измерения при измеренном уровне шума $I = 10^{0,1L-12}$. Операции вычислений с использованием интенсивности звуковой энергии I по сравнению с уровнем звука L обладают преимуществом простоты и наглядности физического смысла. Обратное преобразование легко проводится по формуле (3.2).

Схема расчета шумовых характеристик транспортного потока выглядит следующим образом: выявляют показатели шума всех автомобилей, составляющих поток; суммируют шум всех автомобилей по определенному закону. Важнейшим элементом расчета шума транспортного потока является установление объективных законов, по которым можно суммировать шум одиночных автомобилей в потоке. С акустических позиций звуковое поле транспортного потока является полем, образованным распределенной системой точечных излучателей [3].

Общая теория распределенных систем излучателей предлагает принципиальные подходы к расчету полей, создаваемых распределенными системами в различных условиях. Основным методом является энергетическое суммирование. Возможности энергетического сложения существенно зависят от частотных характеристик источников. Получающаяся на фиксированных частотах достаточно сложная интерференционная картина поля чрезвычайно сильно зависит от координат

точки и от частоты, изменяясь в десятки раз при незначительных изменениях начальных условиях. В действительности, однако, мы не замечаем таких изменений, так как явно выраженная интерференционная картина получается лишь на чистых тонах.

Сама процедура суммирования при исследовании эквивалентных уровней шума может быть проведена двумя способами. Первый из них заключается в том, что в данный момент времени в какой-либо точке пространства суммируют уровни или интенсивности звуковой энергии в данной точке от всех источников. При этом получают значения мгновенных суммарных уровней шума системы

$$L_{\text{мгн}} = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0,1L_i - 12} + 120, \quad (3.3)$$

где N – число источников шума.

Затем по формуле (3.1) рассчитывают эквивалентный уровень за определенное время. Такая процедура расчетов через мгновенные значения уровней шума реализована в работах ряда исследователей. Обладая преимуществом универсальности, она имеет недостаток, заключающийся в сложности расчетов и главное в необходимости тщательного моделирования движения автомобилей на дороге. В расчетах можно использовать способ энергетического суммирования. Эта процедура заключается в суммировании эквивалентных за время T интенсивностей звуковых энергий отдельных источников:

$$I_{\text{экв тв}} = \sum_{i=1}^N I_{\text{экв } i}, \quad (3.4)$$

где $I_{\text{экв тв}}$ и $I_{\text{экв } i}$ – эквивалентная интенсивность звуковой энергии в данной точке за время наблюдения T соответственно транспортного потока и i -го автомобиля.

Эквивалентный уровень шума транспортного потока $L_{\text{экв}}$ при интенсивности движения N

$$L_{\text{экв}} = 10 \lg \sum_{i=1}^N I_{\text{экв } i} + 120. \quad (3.5)$$

3.2. РАСЧЕТ ШУМА ОТ ОДИНОЧНОГО АВТОМОБИЛЯ

Рассчитаем уровень шума, создаваемого одиночным автомобилем, проезжающем с постоянной скоростью участок в двести метров. [3]

Расстояние от расчетной точки до первой полосы движения – 20 м (рис. 2).

В соответствии с ГОСТ 20444 – 2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики», регламентирующем определение шумовых характеристик автомобилей и транспортных потоков, за расчетное принято расстояние 7,5 м от оси движения автомобиля.

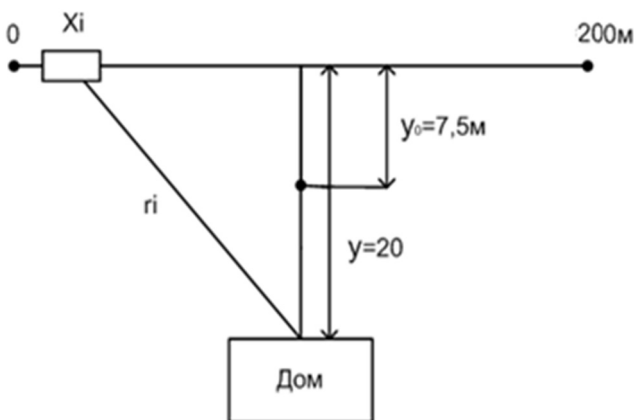


Рис. 2. План движения автомобиля

Рассмотрим движение с постоянной скоростью

Формула для расчета уровня шума автомобиля с установившейся скоростью [4]:

$$L_p = 30 \lg V + K, \quad (3.6)$$

где V – это установившаяся скорость; K – коэффициент, зависящий от модели автомобиля ($K = 21,0$ для легковых автомобилей, $K = 30,8$ для грузовых карбюраторных автомобилей, $K = 34,8$ для грузовых дизельных автомобилей).

Для определения эквивалентного уровня шума i -го автомобиля, движущегося в составе транспортного потока, для наблюдателя, находящегося в точке на расстоянии 7,5 м от полосы движения, можно

использовать формулу (3.6). Представив автомобиль точечным ненаправленным источником мощностью W_i , находящемся в свободном полупространстве. Можно выразить интенсивность звуковой энергии от автомобиля на произвольном расстоянии r как $I_i(r_i)$ через расчетную $I_i(7,5) = I_{ip}$ на расстоянии 7,5 м от полосы движения:

$$W = I_i(r_i)2\pi r_i^2 = I_{ip}2\pi(7,5)^2, \quad (3.7)$$

$$I_i(r_i) = 56,25 \frac{I_{ip}}{r_i^2}. \quad (3.8)$$

Уровень шума на произвольном расстоянии от источника

$$I_i(r_i) = 10 \lg \frac{56,25^2 I_{ip}}{I_0 r_i^2} = L_{ip} - 20 \lg \frac{r_i}{7,5} \quad (3.9)$$

В процессе движения автомобиля расстояние от него до точки измерения изменяется согласно закону его движения. Как видно из расчетной схемы на рис. 2, расстояние от точки наблюдения до источника

$$r_i = \sqrt{x_i^2 + y^2},$$

где x_i – текущая координата автомобиля; $x_i = f(t)$; y – расстояние от точки измерения до полосы движения.

Текущее значение интенсивности звуковой энергии в точке наблюдения

$$I_i(r) = 56,25 \frac{I_{ip}}{(x_i^2 + y^2)}. \quad (3.10)$$

Для определения «интегральной интенсивности», пришедшей в точку O и выделенной на участке $x_1 x_2$ или за время проезда этого участка T , что в данном случае с физической стороны идентично, необходимо проинтегрировать выражение (3.10) по расстоянию или времени:

$$I_{\text{инт } i} = 56,25 \int_{x_1}^{x_2} \frac{I_{ip}}{x_i^2 + y^2} dx; \quad (3.11)$$

$$I_{\text{инт } i} = \int_0^T \frac{I_{ip}}{x_i^2(t) + y^2} dt. \quad (3.12)$$

Эквивалентная интенсивность получается делением интегральной интенсивности соответственно на расстояние или время интегрирования:

$$I_{\text{экви}} = \frac{I_{\text{инт } i}}{x_1 x_2} = \frac{I_{\text{инт } i}}{T(x_1 x_2)}. \quad (3.13)$$

Эквивалентный уровень шума при проезде участка $x_1 x_2$ определяется подстановкой эквивалентной интенсивности $I_{\text{экви}}$ в формулу (3.2):

$$L_{\text{экви}} = 10 \lg \frac{I_{\text{экви}}}{I_0} = 10 \lg I_{\text{экви}} + 120. \quad (3.14)$$

Таким образом, для определения эквивалентного уровня шума одиночного автомобиля за время проезда определенного участка необходимо знать законы, характеризующие режимы его движения и изменение расчетных уровней шума на данных режимах.

Легко заметить, что при постоянной скорости, когда мгновенные значения уровня шума автомобиля в 7,5 м от него ($L_p^{\text{мгн}}$) не зависят от времени или координаты автомобиля, выражение (3.13) сводится к

$$I_{\text{экви}} = \frac{56,25 \cdot 2I_{ip}}{2x_2} \int_0^{x_2} \frac{dx}{X_2^2 + Y} = \frac{56,25 \cdot 10^{0,1L_p^{\text{мгн}}(\text{в})-12}}{Y_0 X_2} \arctg \frac{X}{Y_0}, \quad (3.15)$$

где X_2 – половина длины участка интегрирования; Y_0 – расстояние от точки регистрации до оси полосы движения автомобиля.

3.3. ЗАВИСИМОСТЬ ЭКВИВАЛЕНТНОГО УРОВНЯ ШУМА ОТ ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Для многополосных магистралей эквивалентный уровень шума транспортного потока определяется энергетической суммой шума всех полос. Причем прогнозируемый шум определяют исходя из интенсивности и состава потока на этой полосе.

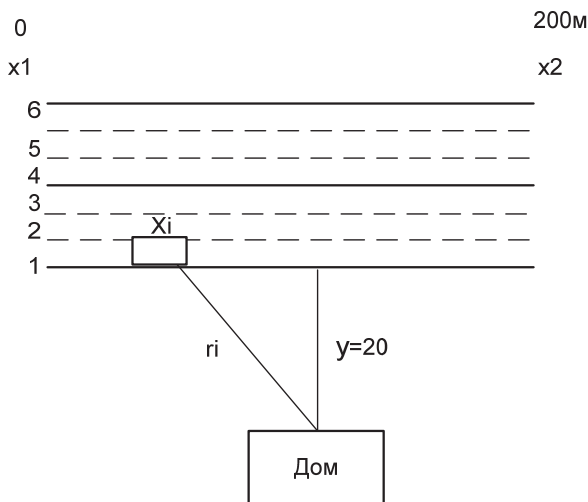


Рис. 3. План движения автомобиля по полосе

Эквивалентный уровень шума транспортного потока на расстоянии y от середины крайней полосы движения $L_{\text{экв } y}^{\text{пот}}$ у при допущениях, что поток равномерно распределяется по всем полосам, и отсутствуют явления отражения и экранирования[3].

$$L_{\text{экв } y}^{\text{пот}} = 120 + 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^m L_{\text{экв } 7,5}^{\text{пот}} \left[\frac{1}{y + 3,75(i-1)} \right] 7,5, \quad (3.16)$$

где i – номер полосы движения; m – число полос движения на магистрали; 3,75 м – ширина полосы движения.

3.4. ОЦЕНКА ЭКВИВАЛЕНТНОГО УРОВНЯ ЗВУКА ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

На автомагистрале была проведена оценка интенсивности движения. Результаты наблюдений занесены в таблицу.

Т а б л и ц а 2

Интенсивность движения транспортного потока

Вид автотранспорта	Количество машин (за 1 час), шт.
Легковые автомобили	1450
Грузовые дизельные автомобили	26
Грузовые карбюраторные автомо- били	170

Опираясь на данные из таблицы, а также используя рассчитанные по приведенным выше формулам эквивалентные уровни шума для каждого типа автомобилей, можно определить эквивалентный уровень звука транспортного потока.

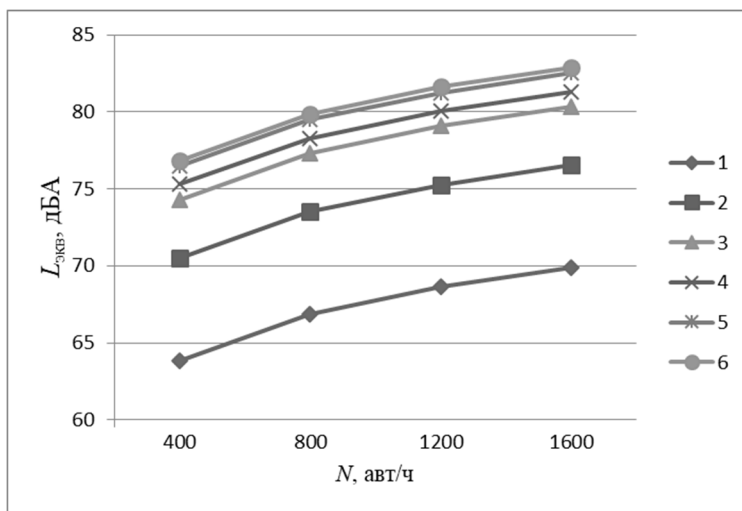


Рис. 4. Зависимость эквивалентного уровня шума транспортного потока по одной полосе от интенсивности движения при доле грузовых автомобилей в потоке, %: 1 – 0; 2 – 10; 3 – 40; 4 – 60; 5 – 90; 6 – 100

Искомый уровень звукового давления при равномерном движении автомобилей получим, воспользовавшись формулой [5]:

$$L = 10 \lg \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right), \quad (3.17)$$

где $L_1, L_2, \dots, L_n$ – уровни звукового давления или уровни интенсивности, создаваемые каждым источником в расчетной точке.

Был рассчитан процесс движения транспортного потока с разным процентом грузовых автомобилей, при котором за час расстояние в две-сти метров проходило от 400 машин до 1600.

При этом расстояние 200 метров автомобиль в среднем проезжает за 18 секунд со скоростью 40 км/ч.

Рассчитав по выше приведенным формулам эквивалентный уровень шума, построим график зависимости эквивалентного уровня шума транспортного потока от интенсивности движения.

4. РАСЧЕТ УРОВНЯ ШУМА ВБЛИЗИ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

4.1. РАСЧЕТ ШУМОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА (МЕТОДИКА 1)

Методика разработана в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) [5].

Рассчитаем уровень шума, создаваемый транспортным потоком вблизи магистралей.

Факторы, которые определяют уровень транспортного шума, это:

- 1) характер примыкающей к дороге территории;
- 2) процент грузовых автомобилей;
- 3) интенсивность движения;
- 4) режим движения, зависящий от дорожных условий.

Шумовую характеристику транспортного потока – $L_{ШХТП}$, как правило определяют на расстоянии 7,5 м от оси ближней полосы движения транспортных средств и на высоте 1,5 м от уровня дорожного покрытия.

Значение уровня шумовой характеристики транспортного потока, дающее оценку реальных дорожных условий, определяют по формуле:

$$\begin{aligned} L_{ШХТП} = L_{трп} + \Delta L_{груз} + \Delta L_{ск} + \Delta L_{ук} + \Delta L_{пок} + \\ + \Delta L_{рп} + \Delta L_{зас} + \Delta L_{перес}, \end{aligned} \quad (4.1)$$

где поправки в табл. 3.

Значение $L_{трп}$ рассчитывается по формуле:

$$L_{трп} = 50 + 8,8 \lg N, \quad (4.2)$$

где N – расчетная интенсивность движения в дневной или ночной периоды времени, определяем по формулам 4.3 или 4.4, авт/ч.

$$N_{\text{д}} = 0,076 N_{\text{сут}} , \quad (4.3)$$

$$N_{\text{н}} = 0,039 N_{\text{сут}} , \quad (4.4)$$

где $N_{\text{сут}}$ – среднегодовая суточная интенсивность движения, авт/сутки;
 $N_{\text{д}}$ – расчетная интенсивность движения в час пик, авт/ч; $N_{\text{н}}$ – расчетная интенсивность движения в ночное время, авт/ч.

Т а б л и ц а 3

Уточнения к формуле 4.1

Поправка	Описание
$L_{\text{ШХТП}}$, дБА	Расчетное значение эквивалентного уровня звука при движении в реальных дорожных условиях
$L_{\text{ШХТП}}$, дБА	Расчетное значение эквивалентного уровня звука при движении в реальных дорожных условиях
$L_{\text{трп}}$, дБА	Расчетное значение эквивалентного уровня шума на расстоянии 7,5 м от оси крайней полосы движения, определяем по формуле 4.2
$\Delta L_{\text{тяж}}$, дБА	Поправка, которая учитывает изменение числа грузовых автомобилей в транспортном потоке (табл. 4)
$\Delta L_{\text{ск}}$, дБА	Поправка, учитывающая изменение средней скорости движения (табл. 5)
$\Delta L_{\text{ук}}$, дБА	Поправка, учитывающая величину уклона (табл. 6)
$\Delta L_{\text{пок}}$, дБА	Поправка, учитывающая тип дорожного покрытия (табл. 7)
$\Delta L_{\text{рп}}$, дБА	Поправка, учитывающая наличие центральной разделительной полосы (табл. 8)
$\Delta L_{\text{зас}}$, дБА	Поправка, учитывающая влияние придорожной застройки (табл. 9)
$\Delta L_{\text{перес}}$, дБА	Поправка, учитывающая наличие пересечения (табл. 10)

Т а б л и ц а 4

Поправка, учитывающая долю грузовых автомобилей и автобусов в составе потока

Доля грузовых автомобилей и автобусов в составе потока, %	< 5	5–20	20–35	35–50	50–60	65–85	85–100
Поправка $\Delta L_{\text{груз}}$, дБА	–3,0	–2,0	–1,0	0,0	+1,0	+2,0	+3,0

Таблица 5

Поправка, учитывающая скорость движения

Скорость движения, км/час	-20	-17	-12	-7	+7	+15	+20
Поправка $\Delta L_{ск}$, дБА	-3,5	-3,0	-2,0	-2,0	+1,0	+2,0	+2,5

Таблица 6

Поправка, учитывающая продольный уклон

Доля грузовых автомобилей в потоке, %		< 25	25–50	50–85	85–100
Поправка $\Delta L_{ук}$, дБА	при уклоне 2 %	+2,0	+2,0	+3,0	+3,0
	при уклоне 4 %	+2,0	+3,0	+4,0	+5,0

Таблица 7

Поправка, учитывающая тип дорожного покрытия

Тип покрытия проезжей части	Доля легковых автомобилей в потоке, %	Поправка, дБА
Шероховатая поверхностьная обработка	Менее 10	0,0
	10–30	+0,5
	30–55	+1,0
	55–75	+2,0
	75–90	+3,0
	90–100	+4,0
Асфальтобетон	Менее 15	0,0
	15–45	+0,5
	45–65	+1,0
	65–90	+1,5
	90–100	+3,0

Таблица 8

Поправка, учитывающая ширину центральной разделительной полосы

Ширина центральной разделительной полосы, м	4	6	10	20
Поправка $\Delta L_{рп}$, дБА	-0,5	-0,75	-1,0	-1,5

Т а б л и ц а 9

Поправка, учитывающая характер придорожной застройки

Тип застройки	Поправка при усредненных разрывах между домами на линии застройки, м			
	более 30	30–20	20–10	менее 10
Двухсторонняя при ширине между линиями застройки, м:				
более 50	0,0	0,0	0,0	0,0
50–40	+1,0	+1,0	+2,0	+2,0
40–30	+2,0	+2,0	+3,0	+3,0
30–20	+3,0	+3,0	+4,0	+5,0
20–10	+4,0	+5,0	+5,0	+6,0
Односторонняя при ширине между линиями застройки, м:				
более 40	0,0	0,0	0,0	0,0
45–25	0,0	0,0	+1,0	+1,0
25–12	+1,0	+1,0	+2,0	+2,0
12–6	+1,0	+2,0	+3,0	+3,0

При наличии пересечений в непосредственной близости от расчетной точки, поправки для пересечения со светофорным регулированием определяется по табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Поправка, учитывающая наличие регулируемого пересечения

Расстояние по оси проезжей части, м		Поправка, дБА при количестве грузовых автомобилей в составе транспортного потока				
		10	20	40	60	80
До стоп-линии	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	100	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5
	50	0,0	1,0	1,0	1,5	2,0
	25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Стоп линия	0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,5
После стоп-линии	25	0,5	1,5	2,0	3,0	3,5
	50	0,5	1,0	2,0	3,0	3,5
	100	0,0	0,5	1,0	2,0	2,5
	150	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0
	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Для расчета интенсивности, используется формула 4.3 для дневного периода времени.

Для удобства последующего сравнения полученных расчетных данных различных методик, с разным процентом грузовых автомобилей, рассчитываем значения уровня шума при количестве от 400 до 1600 автомобилей.

Т а б л и ц а 11

Расчетные данные эквивалентного уровня шума $L_{\text{шхтп}}$

Количество автомобилей, авт/ч Процент грузовых автомобилей, %	400	800	1200	1600
0	65,0	67,6	69,2	70,3
10	66,0	68,6	70,2	71,3
40	66,1	68,7	70,3	71,7
60	66,5	69,1	70,7	71,8
90–100	69,0	70,6	72,2	73,3

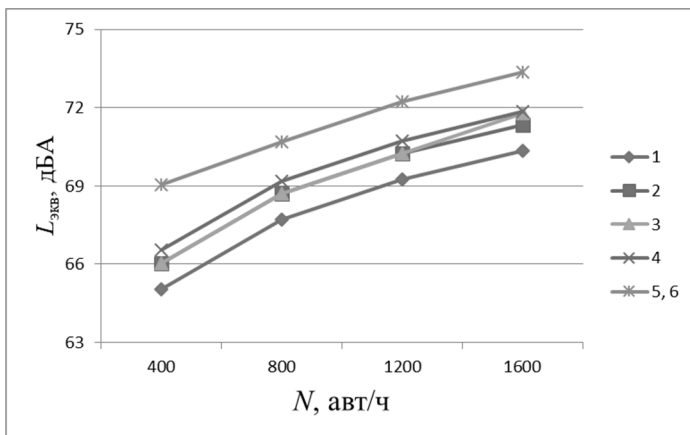


Рис. 5. Зависимость эквивалентного уровня шума транспортного потока по одной полосе от интенсивности движения при доле грузовых автомобилей в потоке, %: 1–0; 2–10; 3–40; 4–60; 5–90; 6–100

Значения, полученные из формулы 4.3, подставляем в формулу 4.2. Далее, переходим к формуле $L_{\text{ШХТП}}$, подставляя полученные значения $L_{\text{трп}}$ и оставшиеся необходимые для расчета поправки.

Рассчитав по вышеприведенной формуле $L_{\text{ШХТП}}$ эквивалентный уровень шума, занесем данные в таблицу и построим график зависимости эквивалентного уровня шума транспортного потока от интенсивности движения.

На данном рисунке видно, что с увеличением числа автомобилей наблюдается рост эквивалентного уровня звука.

4.2. РАСЧЕТ ШУМОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА (МЕТОДИКА 2)

Методика разработана НИИ строительной физики и Московским НИИП институтом типологии и экспериментального проектирования [6].

Рассчитаем шумовую характеристику потока $L_{A \text{ экв}}$ в дБА, определяемую на расстоянии 7,5 м от оси ближней полосы движения транспорта.

$$L_{A \text{ экв}} = 10 \lg Q + 13,31 \lg V + 4 \lg(1 + \rho) + \Delta L_{A1} + \Delta L_{A2} + 15 \text{ дБА}, \quad (4.5)$$

где Q – интенсивность движения, ед/час; ρ – доля грузового транспорта в потоке, %; v – скорость потока, км/ч; $\Delta L_{A1}, \Delta L_{A2}$ – поправки.

Т а б л и ц а 12

Параметры для формулы 4.5

Обозначение параметров	Описание
Q , ед./ч	Интенсивность движения
V , км/ч	Средняя скорость потока
ρ , %	Доля средств грузового и общественного транспорта в потоке, (к грузовым относятся автомобили грузоподъемностью 1,5 т и более)
L_{A1} , дБА	Поправка, учитывающая вид покрытия проезжей части улицы или дороги; (при асфальтобетонном покрытии $L_{A1} = 0$, при цементобетонном покрытии $L_{A1} = +3$ дБА)
L_{A2} , дБА	Поправка, учитывающая продольный уклон дороги

Рассчитаем $L_{A \text{ экв}}$, подставив все необходимые значения в формулу 4.5, при скорости движения автомобилей 40 км/час, количестве автомобилей 1500 авт/час и доле грузовых автомобилей 40 %:

$$L_{A \text{ экв}} = 10 \lg 1500 + 13,31 \lg 40 + 4 \lg (1 + 40) + 0 + 0 + 15 \text{ дБА}.$$

Рассчитанное значение эквивалентного уровня звука 74,51 дБА.

Произведем аналогичный расчет $L_{A \text{ экв}}$ с различными процентами грузовых автомобилей и занесем полученные результаты в табл. 13, а также построим график.

Т а б л и ц а 13

Расчетные значение $L_{A \text{ экв}}$ с различными процентами грузовых автомобилей β

β	$L_{A \text{ экв}}$
0	68,0
10	72,2
40	74,5
60	75,2
90	75,9
100	76,0

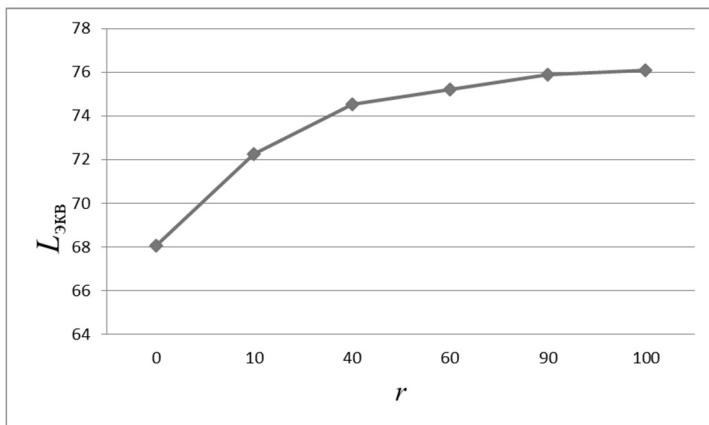


Рис. 6. Уровни $L_{A \text{ экв}}$ с различными процентами грузовых автомобилей r

Для удобства последующего сравнения, полученных расчетных данных различных методик, с разным процентом грузовых автомобилей, рассчитываем также значения уровня шума при количестве от 400 до 1600 автомобилей.

Полученные значения занесем в табл. 13 и построим график рис. 7.

Т а б л и ц а 14

Расчетные данные эквивалентного уровня шума $L_{A\text{ экв}}$

Количество автомобилей, авт/ч Процент грузовых автомобилей, %	400	800	1200	1600
0	62,3	65,3	67,09	68,3
10	66,4	69,0	71,2	72,5
40	68,7	71,7	73,5	74,7
60	69,4	72,4	74,2	75,4
90	70,1	73,1	74,9	76,1
100	70,3	73,3	75,1	76,3

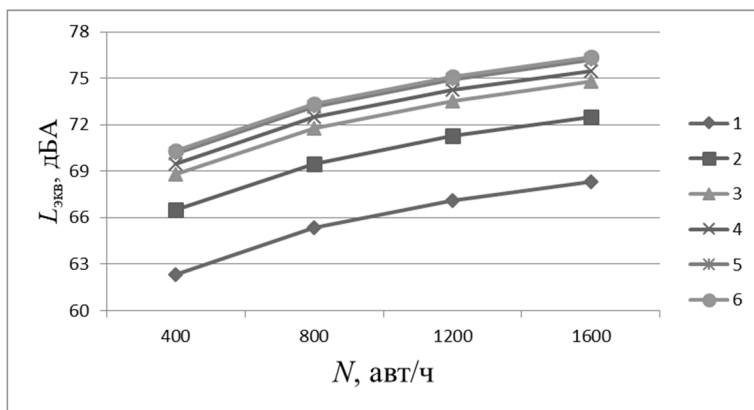


Рис. 7. Зависимость эквивалентного уровня шума транспортного потока по одной полосе от интенсивности движения при доле грузовых автомобилей в потоке, %: 1–0; 2–10; 3–40; 4–60; 5–90; 6–100

На графике видно, что с увеличением процента грузовых автомобилей уровень шума возрастает.

Зависимость эквивалентных уровней шума от интенсивности потока позволяет использовать перераспределение потока по дорожной сети во времени как один из методов снижения акустической загруженности среды. Степень ограничения или полное запрещение движения должны базироваться на предельно допустимых уровнях шума в тех зонах города, где это необходимо, или на критерии экономической оценки эффективности перераспределения.

В первой методике, в формуле учитывалось большое количество поправок, направленных на максимальный учет всевозможных параметров, касающихся дороги и автомобиля.

Вторая методика имеет более упрощенный вид. Во второй методике также приводятся некоторые поправки, такие как поправка, учитывающая вид покрытия проезжей части, поправка, учитывающая продольный уклон дороги. При выборе наиболее подходящей методики следует руководствоваться имеющимися данными и ее удобством в расчетах.

4.3. РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ УРОВНЕЙ ШУМА С УЧЕТОМ ШУМА, СОЗДАВАЕМОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТОМ

Расчет проводится по методике и данным приведенным в разделе 4.2.

Исходным параметром для расчета эквивалентного уровня звука, создаваемого у фасада здания потоком автомобильного транспорта, является шумовая характеристика потока $L_{\text{экв}}$ в дБА.

$$L_{A \text{ экв}} = 10 \lg Q + 13,31 \lg V + \\ + 4 \lg(1 + \rho) + \Delta L_{A1} + \Delta L_{A2} + 15 \text{ дБА} , \quad (4.6)$$

где Q – интенсивность движения, ед/час; V – средняя скорость потока, км/ч; ρ – доля средств грузового транспорта в потоке, %; ΔL_1 – поправка, учитывающая вид покрытия проезжей части дороги, (при асфальтобетонном покрытии $\Delta L_{A1} = 0$, при цементобетонном покрытии $\Delta L_{A1} = +3$ дБА); ΔL_{A2} – поправка, учитывающая продольный уклон дороги, определяемая по табл. 15. Продольный уклон дороги отсутствует, интенсивность движения 1500 авт/час, средняя скорость 40 км/час.

Подставим необходимые значения:

$$L_{A_{\text{экв}}} = 10 \lg Q + 13,31 \lg V + 4 \lg (1 + \rho) + \\ + \Delta L_{A_1} + \Delta L_{A_2} + 15 = 74,6 \text{ дБА} .$$

Т а б л и ц а 14

Поправка ΔL_2 , учитывающая продольный уклон улицы или дороги

Продольный уклон улицы или дороги, %	ΔL_{A_2} , дБА				
	Доля средств грузового и общественного транспорта в потоке, %				
	0	5	20	40	100
2	0,5	1	1	1,5	1,5
4	1	1,5	2,5	2,5	3
6	1	2,5	3,5	4	5
8	1,5	3,5	4,5	5,5	6,5
10	2	4,5	6	7	8

Ожидаемый эквивалентный уровень звука $L_{\text{экв тер}}$, создаваемый потоком средств автомобильного транспорта в расчетной точке на территории у жилого дома определяется по формуле:

$$L_{\text{экв тер}} = L_{\text{экв}} - \Delta L_3 + \Delta L_4 , \quad (4.7)$$

где ΔL_3 – снижение уровня шума в зависимости от расстояния от оси ближайшей полосы движения транспорта до расчетной точки, определяется по рисунку 8, дБА; ΔL_4 – поправка, учитывающая влияние отраженного звука, дБА, определяемая по табл. 16.

Т а б л и ц а 16

Поправка ΔL_4 , учитывающая влияние отраженного звука

Тип застройки	Односторонняя	Двусторонняя				
		отношение $h_{p.t.}/B$				
		0,05	0,25	0,4	0,55	0,7
ΔL_{A4} , дБА	1,5	1,5	2,0	2,5	3	3,5

Здесь $h_{р.т.}/B$ – отношение высоты расчетной точки $h_{р.т.}$ к ширине улицы B (расстоянию между фасадами зданий).

Подставляя все поправки, определим:

$$L_{\text{экв тер}} = 74,6 - 6 + 1,5 = 69,9 \text{ дБА}.$$

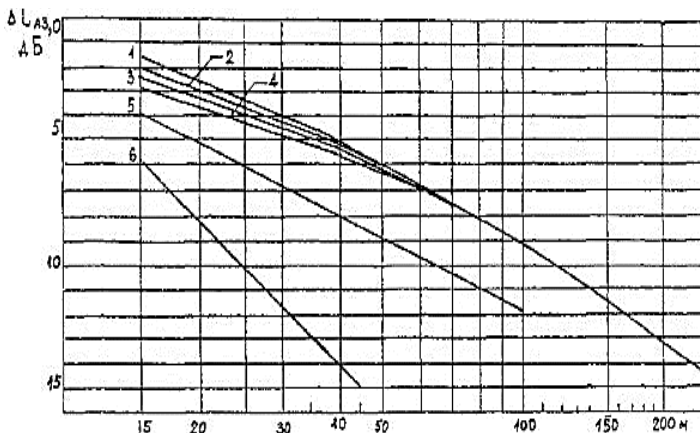


Рис. 8. Снижение уровня звука с расстоянием

1 – улица, 2 – полосы движения; 2 – улица, 4 – полосы движения; 3 – улица, 6 – полос движения; 4 – улица, 8 – полос движения; 5 – трамвай ($L_{A \text{ экв}}$), 6 – трамвай ($L_{A \text{ экв макс}}$)

При наличии в транспортном потоке трамваев эквивалентные уровни звука у фасада здания $L_{A \text{ экв тер}}$ в дБА в дневное и ночное время следует определять путем суммирования по энергии эквивалентных уровней звука, рассчитанных отдельно для потока средств автомобильного транспорта и потока трамваев. В этом случае необходимо также дополнительно определять максимальные уровни звука $L_{A \text{ макс тер}}$, создаваемые у фасада здания трамваями.

Эквивалентные уровни звука в дБА, создаваемые транспортным потоком у фасада здания, могут быть получены путем измерений или рассчитаны на основании шумовой характеристики транспортного потока, определяемой по карте шума или по рассматриваемой методике

Ожидаемые эквивалентный и максимальный уровни звука определяются по формуле для $L_{A \text{ экв тер}}$, подставляя в нее:

$L_{\text{экв}}$ – эквивалентный уровень звука потока трамваев на расстоянии 7,5 м от оси ближнего пути, дБА, определяемый по формуле:

$$L_{\text{экв}} = 10 \lg N + \Delta L_{A5} + 51, \quad (4.8)$$

где ΔL_{A5} – поправка, учитывающая основание пути, определяется по табл. 17.

Т а б л и ц а 17

Поправка учитывающая влияние основания пути

Основание пути	ΔL_{A5}	Расчетный максимальный уровень звука, дБА
Шпально-песчаное	0	82
Шпально-щебеночное	+4	86
То же на монолитной плите	+1	83
Монолитно-бетонное	+10	92

В зависимости от средней часовой интенсивности движения трамваев показатель N выбирается: в течение 4-х часового периода с наибольшей интенсивностью движения для дневного времени или интенсивности движения в наиболее шумный часовой период ночного времени.

Произведем расчет при количестве трамваев 20, проходящих в дневное время в течение часа.

$$L_{\text{экв}} = 10 \lg 20 + 0 + 51 = 64,0 \text{ дБА}.$$

Снижение эквивалентного уровня звука от трамвая определим по рис. 8.

По табл. 15 определим:

$$\Delta L_{A3} = 6,0 \text{ дБА}.$$

Спектр транспортного шума можно определить, используя табл. 18.

Подставим полученное значение в формулу $L_{A \text{ экв тер}}$:

$$L_{A \text{ экв тер}} = 64 - 6,0 + 1,5 = 59,5 \text{ дБА}.$$

Таблица 18

Относительные спектры шума различных видов транспорта (поправки к значению L_A)

Источник шума	Октавные полосы частот, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Автомобильный транспорт	+2	-1	-4	-4	-7	-13
Трамвай	-2	+3	-3	-6	-8	-13
Пассажирские и грузовые поезда (на электрической тяге)	+1	+1	-1	-6	-10	-18
Пригородные электропоезда	-4	-2	0	-5	-11	-19

Далее находим ожидаемый эквивалентный уровень шума у фасада здания от потока трамваев и автомобильного транспорта по формуле:

$$L_{A \text{ экв.тер}2} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{A \text{ экв.тер}i}} \right). \quad (4.9)$$

Эквивалентный уровень шума автомобильного транспорта вблизи жилого дома с учетом шума, создаваемого трамваями, рассчитанный формуле (4.9) составляет 70,3 дБА. Допустимый эквивалентный уровень, проникающего шума в помещениях жилого здания, в дневное время 40 дБА. Требуемое снижение шума:

$$\Delta L_{A \text{ тр}} = 30,3 \text{ дБА.}$$

В табл. 19 и табл. 20 приведены характеристики различных окон [7].

Таблица 19

Сравнение показателей звукоизоляции одинарного остекления, обычного симметричного стеклопакета несимметричного стеклопакета

Остекление	Формула стеклопакета	R_w
Симметричный стеклопакет	4 мм/12/4 мм	26
Несимметричный стеклопакет	4 мм/12/6 мм	30

**Сравнение показателей звукоизоляции стеклопакетов
с различным воздушным зазором**

Формула стеклопакета	R_w
6 мм/12/6 мм	28
6 мм/20/6 мм	30

Несимметричный стеклопакет 4 мм/12/6 мм или симметричный стеклопакет 6 мм/20/6 мм со звукоизоляцией R_w равной 30дБА практически обеспечивают необходимое снижение уровня шума.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ШУМА ВБЛИЗИ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Для оценки уровня шума на прилегающей к дороге территории, следует намечать расчетные точки (РТ) на ближайшей к источнику шума границе защищаемой от шума зоны, на высоте 1,5 м от уровня земли.

Если защищаемая от шума территория частично находится в зоне звуковой тени, а частично в зоне попадания прямых звуковых лучей, то расчетная точка должна находиться вне зоны звуковой тени. Расчетные точки на территориях, непосредственно прилегающих к жилым домам, зданиям больниц и санаториев, следует располагать на расстоянии 2 м от ограждающих конструкций защищаемого от шума здания.

Если защищаемое от шума строение расположено на расстоянии менее 50 м от края проезжей части и находится частично или полностью в зоне попадания прямых звуковых лучей, то должна намечаться дополнительная расчетная точка.

Разбивка защищаемой от шума территории на отдельные участки, отличающиеся по условиям распространения шума, производится следующим образом [5]:

- выделяются сектора, в пределах которых между источником шума и расчетной точкой расположены какие-либо экранирующие препятствия (здания, строения, элементы рельефа);
- шум в расчетную точку поступает с двух или более направлений;
- автомобильная дорога в пределах защищаемой территории изменяет свое направление.

В этих случаях из расчетной точки на плане проводят лучи через края экранирующих объектов, через точки пересечения дорог, а также через вершины углов поворота дорог (улиц) до пересечения с осью первой полосы движения транспортных средств (рис. 9).

В качестве примера произведем разбивку территории и отметим углы на рис. 10.

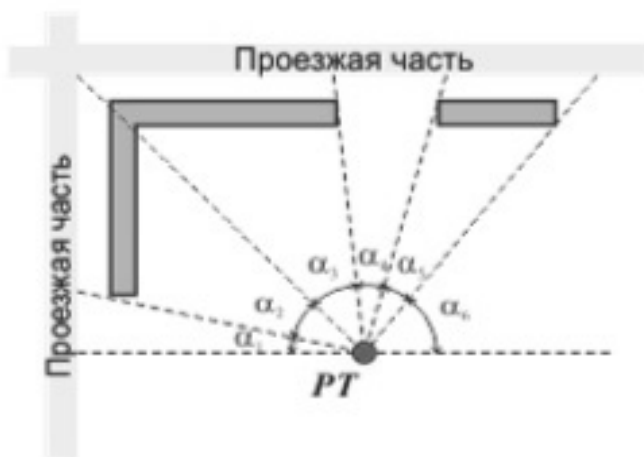


Рис. 9. Пример разбивки территории застройки на участки, отличающиеся по условиям распространения шума

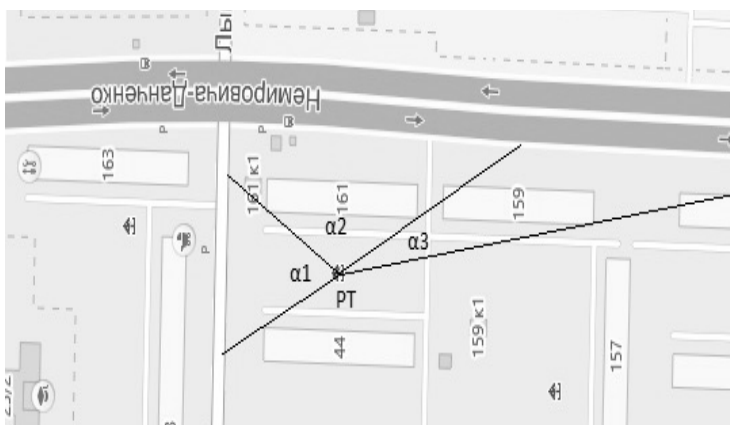


Рис. 10. Расположение расчетной точки с разбивкой территории

Определим углы.

Эквивалентный уровень звука в расчетной точке (РТ) зависит от:

- шумовой характеристики транспортного потока;
- расстояния от магистрали до расчетной точкой;
- снижения уровня звука, вследствие его затухания в воздухе;

Значения углов

Угол	Значение
α_1	40°
α_2	140°
α_3	30°

– влияния турбулентности воздуха и ветра на процесс распространения звука;

– снижения уровня звука, вследствие его поглощения поверхностью территории;

– снижения уровня звука полосами зеленых насаждений;

– снижения уровня звука экранирующими препятствиями (зданиями, насыпями, холмами, выемками, искусственными экранами и т. п.) на пути звуковых лучей от автомагистрали к расчетной точке;

– отражения звука от ограждающих конструкций зданий;

– снижения уровня звука вследствие ограничения угла (α) видимости дороги из расчетной точки.

Ожидаемый эквивалентный уровень звука ($L_{\text{АРТ}}$) в расчетной точке рассчитывают по формуле [5]:

$$L_{\text{АРТ}} = L_{\text{ШХТП}} - \left(\Delta L_{\text{А рас}} + \Delta L_{\text{А вос}} + \Delta L_{\text{в/т}} + \Delta L_{\text{А пок}} + \Delta L_{\text{А застр}} + \Delta L_{\text{А отр}} + \Delta L_{\text{А } \alpha} \right), \quad (51)$$

где $L_{\text{ШХТП}}$ – шумовая характеристика транспортного потока, дБА;

$\Delta L_{\text{А рас}}$ – снижение уровня звука транспортного потока, в зависимости от расстояния до расчетной точки, формула (5.2), дБА;

$\Delta L_{\text{А вос}}$ – снижение уровня звука, вследствие его затухания в воздухе, рассчитывается по формулам (5.3) или (5.4), дБА;

$\Delta L_{\text{в/т}}$ – поправка, учитывающая влияние турбулентности воздуха и ветра на процесс распространения звука, рассчитывается по формуле (5.5), дБА;

$\Delta L_{\text{А пок}}$ – снижение уровня звука, вследствие его поглощения поверхностью территории, рассчитывается по формуле (5.6), дБА;

$\Delta L_{\text{зел}}$ – снижение уровня звука полосами зеленых насаждений рассчитывается по формуле (5.8), дБА;

$\Delta L_{\text{А застр}}$ –

снижение уровня звука экранирующими препятствиями на пути звуковых лучей от автомобильной дороги к расчетной точке, дБА; $\Delta L_{A \text{ отр}}$ – поправка, учитывающая отражение звука от ограждающих конструкций зданий (обычно принимают равной 3 дБА); $\Delta L_{A \alpha}$ – поправка, учитывающая снижение уровня звука вследствие ограничения угла видимости (α) улицы (дороги) из расчетной точки.

Шумовую характеристику транспортного потока $L_{\text{ШХТП}}$ для расчета ожидаемого эквивалентного уровня звука возьмем из примера, приведенного в разделе 2.1.

Снижение уровня звука транспортного потока, в зависимости от расстояния до расчетной точки вычисляется по формуле:

$$L_{\text{рас}} = 10 \lg \frac{R_{\text{в}}}{R_0}, \quad (5.2)$$

где $R_{\text{в}}$ – расстояние от акустического центра транспортного потока до расчетной точки, м; R_0 – расстояние от оси крайней полосы 7,5, м.

Снижение уровня звука вследствие поглощения звука в воздухе следует определять по формуле;

$$\Delta L_{A \text{ воз}} = 0 \quad \text{для } f = 63 \text{ Гц}, \quad (5.3)$$

$$\Delta L_{A \text{ воз}} = 6 \cdot 10^{-6} f \quad \text{для } f = 125 - 8000 \text{ Гц}. \quad (5.4)$$

Поправка, учитывающая влияние турбулентности воздуха и ветра на распространение звука, вычисляется по формуле:

$$\Delta L_{\text{в/т}} = \frac{3}{\left[1,6 + 10^5 \left(\frac{1}{R^2} \right) \right]}, \quad (5.5)$$

где R – расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки.

Эта формула справедлива при усреднении по различным температурным условиям, в предположении, что частота всех направлений ветра равновероятна.

В случае покрытия поверхности территории травой (газоны) или снегом или наличия рыхлого грунта следует дополнительно учитывать

поглощение звука поверхностью территории ($\Delta L_{\text{пок}}$) с помощью следующих формул:

$$\Delta L_{\text{пок}} = 6 \log \left[\frac{\delta^2}{(1 + 0,01\delta^2)} \right], \quad (5.6)$$

$$\delta = \frac{1,4d \cdot 10^{-(0,3H_{\text{иш}}+1)}}{H_{\text{рн}}}, \quad (5.7)$$

где d – расчетное расстояние, равное $d = 1,4R$, м; $H_{\text{иш}}$, $H_{\text{рн}}$ – высот источника шума и расчетной точки над уровнем территории, м. Если при расчете δ оказывается меньше единицы, то ее принимают равной нулю.

В случае акустически жесткой поверхности (асфальт, бетон, плотный грунт, вода) поправка $L_{A \text{ пок}}$ также равна нулю.

При наличии деревьев с плотным примыканием крон и сплошным заполнением подкroнового пространства кустарником, т.е. при устройстве так называемой шумозащитной полосы зеленых насаждений, обеспечиваемое ею снижение шума определяется по формуле:

$$\Delta L_{\text{зел}} = \alpha_{\text{зел}} B, \quad (5.8)$$

где $\alpha_{\text{зел}}$ – постоянная затухания звука в зеленых насаждениях, дБА/м; B – ширина шумозащитной полосы зеленых насаждений, м.

При отсутствии точных данных принимают среднюю величину $\alpha_{\text{зел}} = 0,08$ дБА/м. Формула (5.8) справедлива при ширине полосы не более 100 м.

При большей ширине полосы увеличение $\Delta L_{\text{зел}}$ 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.

Снижение уровня звука ($\Delta L_{A\alpha}$), вследствие ограничения угла видимости улицы или дороги из расчетной точки следует определять по формуле:

$$\Delta L_{A\alpha} = -10 \log \frac{\alpha}{180}, \quad (5.9)$$

где α – угол видимости экранированного или неэкранированного участка улицы или дороги из расчетной точки, град.

Либо по графику, изображенному на рис. 11.

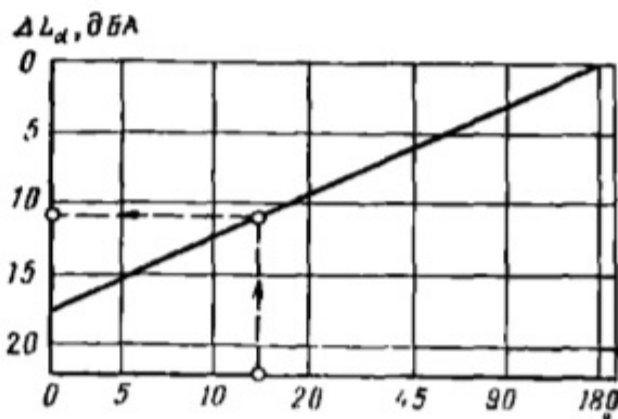


Рис. 11. График для определения снижения уровня звука вследствие ограничения угла видимости улицы или дороги из расчетной точки

Подставим данные в формулы на примере первого участка:

$$L_{\text{рас}} = 10 \log \frac{55}{7,5} = 8,65 \text{ дБА};$$

$$\Delta L_{A \text{ воз}} = 0;$$

$$\Delta L_{\text{в/т}} = \frac{3}{\left[1,6 + 10^5 \left(\frac{1}{55^2} \right) \right]} = 0,086 \text{ дБА},$$

$\Delta L_{\text{зел}}$ принимаем равным 0,08 дБА

$$\Delta L_{A\alpha} = -10 \log \frac{40}{180} = 6,53 \text{ дБА}.$$

Произведем расчет по вышеизложенным формулам, и занесем данные в таблицу.

Т а б л и ц а 22

**Расчетные значения для определения ожидаемого
эквивалентного уровня звука**

Уровень звука или снижение звука, дБА	Номер участка		
	1	2	3
$L_{\text{шхтп}}$	73	73	73
$L_{A \text{ рас}}$	8,65	8,65	8,65
$L_{A \text{ воз}}$	0	0	0
$L_{\text{в/т}}$	0,086	0,086	0,086
$L_{\text{пок}}$	0	0	0
$L_{\text{зел}}$	0,08	0,08	0,08
$L_{A\alpha}$	6,53	1,09	7,78
$L_{\text{Арт}}$	57,65	63,09	56,4

Далее произведем сложение уровней звука в расчетной точке.

Сложение уровней звука по табл. 23 производят последовательно, начиная с максимального [10].

Порядок сложения:

1. Вычисляют разность двух складываемых уровней звука;
2. Определяют добавку к более высокому из двух складываемых уровней звука по таблице в зависимости от полученной разности этих уровней звука;
3. Производят сложение полученной добавки и более высокого из двух складываемых уровней звука;
4. Аналогичные действия производят с полученной суммой двух уровней и третьим уровнем и т. д.

Т а б л и ц а 23

Добавка для получения суммарного уровня звука

Разность двух складываемых уровней, дБА	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	22
Добавка к более высокому уровню для получения суммарного уровня, дБА	3	2,5	2	1,7	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

Вычисляем суммарный уровень звука в расчетной точке и получаем значение равное 65 дБА.

6. ВЫБОР ШУМОЗАЩИТНЫХ ОКОН

Звукоизоляционные свойства окон зависят от многих факторов, основными из которых являются:

- толщина и число слоев остекления;
- величины промежутков между стеклами;
- герметичность притворов, мест установки стекол в фальцах переплетов и мест установки коробок;
- внутренние и конструктивные потери;
- газовое заполнение стеклопакетов;
- косвенная передача звука по конструкциям переплетов, коробок и др.

Шумозащитные свойства остекления регламентируются СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03–2003 (с Изменением N 1) [2].

В связи с тем, что звукоизолирующая способность (собственная звукоизоляция) R (дБ) любой ограждающей конструкции изменяется с изменением частоты f (Гц), наиболее полной характеристикой звукоизоляции является частотная характеристика R (т.е. значения R в функции f). Транспортный шум, «облучающий» фасад здания и проникающий через окно в помещение, также изменяется с частотой, т. е. уровни звукового давления L (дБ) являются функцией f , называемой спектром шума.

Для упрощения оценки шумозащитных свойств окон в рекомендациях Международной организации по стандартизации применен эталонный спектр транспортного шума. При вычитании из спектральных значений эталонного спектра определенных в 1/3 октавных полос частот соответствующих значений R окна и суммировании этих значений получается величина звукоизоляции окна $R_{A \text{ тран}}$ дБА, т. е. величина, характеризующая звукоизоляционные свойства оконной конструкции.

Для выявления зависимости звукоизоляции от параметров остекления (толщины стекол и промежутков между ними) в чистом виде,

исключив влияние других конструктивных элементов окна, необходимо определить звукоизоляцию остекления, установленного в проем массивного ограждения (например, кирпичной стены).

Требуемую звукоизоляцию наружных ограждающих конструкций помещений площадью более 25 м^2 , а также помещений, не указанных в табл. 24, в зданиях, расположенных вблизи транспортных магистралей, следует определять по формуле:

$$R_{A \text{ тран}}^{\text{тр}} = L_{A2\text{м}} - L_{A \text{ доп}} + 10 \log S_o - 10 \log B_{\text{и}} - 10 \log k, \quad (6.1)$$

где $L_{A2\text{м}}$ – эквивалентный (максимальный) уровень звука снаружи в 2 м от ограждения, дБА; $L_{A \text{ доп}}$ – допустимый эквивалентный (максимальный) уровень звука в помещении, дБА; S_o – площадь окна (всех окон, обращенных в сторону источника шума), м^2 ; $B_{\text{и}}$ – акустическая постоянная изолируемого помещения, м^2 ; k – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля, принимается по табл. 25 в зависимости от среднего коэффициента звукопоглощения $\alpha_{\text{ср}}$ в изолируемом помещении.

Т а б л и ц а 24

Нормативные требования к звукоизоляции окон

№ п. п.	Назначение помещений	Требуемые значения $R_{A \text{ тран}}$, дБА, при эквивалентных уровнях звука у фасада здания, дБА, при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час «пик»)				
		60	65	70	75	80
1	Палаты больниц, санаториев, кабинеты медицинских учреждений	15	20	25	30	35
2	Жилые комнаты квартир в домах: категории А категорий Б и В	15	20	25	30	35
		-	15	20	25	30
3	Жилые комнаты общежитий	-	-	15	20	25
4	Номера гостиниц: категории А категории Б категории В	15	20	25	30	35
		-	15	20	25	30
		-	-	15	20	25
5	Жилые помещения домов отдыха, домов-интернатов для инвалидов	15	20	25	30	35
6	Рабочие комнаты, кабинеты в административных зданиях и офисах: категории А категорий Б и В	-	-	15	20	25
		-	-	-	15	20

Требуемую звукоизоляцию $R_{A \text{ тран}}$ следует определять из расчета обеспечения допустимых значений проникающего шума, как по эквивалентному, так и по максимальному уровню, т. е. из двух величин принимается наибольшая.

Т а б л и ц а 25

Значения коэффициентов $\alpha_{\text{ср}}$

$\alpha_{\text{ср}}$	k	$10Lgk$, дБ
0,2	1,25	1,0
0,4	1,6	2,0
0,5	2,0	3,0
0,6	2,5	4,0

Расчет $B_{\text{н}}$ будет производиться по следующей формуле:

$$B = B_{1000} M, \quad (6.2)$$

где B_{1000} – постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000 Гц; M – частотный множитель.

Определяем необходимое значение постоянной B_{1000} по табл. 26.

Т а б л и ц а 26

Значения постоянной помещения B_{1000}

№ п/п	Характеристика помещения	B_{1000} , м ²
1	С небольшим количеством людей (цеха заводов ЖБИ, металлообработки, вентиляционной камеры и т. д.)	$V/20$
2	С жесткой мебелью и большим количеством людей или с небольшим числом людей и мягкой мебели (лаборатории, ткацкие и другие цеха, кабинеты и т. д.)	$V/10$
3	С большим числом людей и мягкой мебелью (комнаты управлений, залы ресторанов, магазинов, вокзалов, игральные залы, жилые помещения)	$V/6$
4	Помещения со звукопоглощающей облицовкой пола и части стен	$V/1,5$

Выбираем формулу по второй строке:

$$B_{1000} = \frac{V}{10}, \quad (6.3)$$

где значение V определяется по формуле:

$$V = abc, \quad (6.4)$$

при размерах помещения:

$$a = 3 \text{ м}; b = 5 \text{ м}; c = 2,5 \text{ м.}$$

$$V = 3 \cdot 5 \cdot 2,5 = 37,5 \text{ м}^3,$$

Тогда

$$B_{1000} = \frac{37,5}{10} = 3,75.$$

Далее для рассчитанного объема определим значения M по табл. 27.

Таблица 27

Значения частного множителя M для помещения различных объемов помещения

Объем помещения V , м	Частный множитель M на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Менее 200	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
От 200 до 1000	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
Свыше 1000	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

Подставим необходимые значения в формулу $B_{и}$, занесем полученные значения в табл.

Таблица 28

Полученные значения акустической постоянной изолируемого помещения

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000
$B_{и}$	3	2,81	2,63	3	3,75	5,25	6,75

Для дальнейшего расчета по формуле 6 зададим исходные данные и занесем их в таблицу.

Произведем расчет для частоты 63 Гц:

$$R_{А\text{тран}}^{\text{тр}} = 68,7 - 50 + 10 \log 3,75 - 10 \log 3 - 1 = 18,6 \text{ дБА.}$$

Исходные данные

Уровень шума L , дБА на расстоянии от жилого дома 2 м	68,7
Допустимый уровень шума $L_{\text{доп}}$, дБА	50
Площадь окна S_o , м	3,75
$10 Lgk$	1

Далее, аналогично, определим на каждой частоте и занесем данные в таблицу.

Полученные значения требуемой звукоизоляции

	63	125	250	500	1000	2000
$R_{A \text{ тран}}^{\text{тр}}$, дБА	19	19	19	19	18	16

Переходим к определению расчетного значения уровня звукового давления в жилом помещении.

Величину звукоизоляции окна $R_{A \text{ тран}}$, дБА, определяют на основании частотной характеристики изоляции воздушного шума окном с помощью эталонного спектра шума потока городского транспорта. Уровни эталонного спектра, скорректированные по спектру частотной коррекции «А» для шума с уровнем звука 75 дБА, приведены в табл. 31, строка 1. Для определения величины звукоизоляции окна $R_{A \text{ тран}}$ по известной частотной характеристике изоляции воздушного шума необходимо в каждой третьоктавной полосе частот из уровня эталонного спектра Li вычесть величину изоляции воздушного шума Ri данной конструкцией окна. Полученные величины уровней следует сложить энергетически и результат сложения вычесть из уровня эталонного шума, равного 75 дБА.

Необходимую звукоизоляцию $R_{A \text{ тран}}$ требуемое следует определять из расчета обеспечения допустимых значений проникающего шума как по эквивалентному, так и по максимальному уровню, т. е. из двух величин $R_{A \text{ тран}}^{\text{тр}}$ принимают большую [2].

Расчетное значение уровня звукового давления в жилом помещении

Частота, Гц	125	250	500	1000	2000	4000
Уровни звукового давления эталонного спектра (скорректированные по «А») L_i , дБ [2]	55	60	63	67	64	60
Изоляция воздушного шума окном R_i , дБ	19	19	19	19	18	16
Разность $L_i - R_i$, дБ	36	41	44	48	46	44

Определим необходимое значение звукоизоляции окна $R_{A \text{ тран}}$:

$$R_{A \text{ тран}}^{\text{тр}} = 75 - 10 \log \sum_i^{16} 10^{0,1(L_i - R_i)} . \quad (6.5)$$

Суммирование произведём только для частот указанных в табл. 31.

Для упрощения энергетического суммирования группируем уровни (строка 3, табл. 31) по одинаковым значениям.

Получается: два уровня по 44 дБ, по одному уровню 36, 41, 46, 48.

$$\begin{aligned}
 10 \log \sum_i^{16} 10^{0,1(L_i - R_i)} &= 10 \log (2 \cdot 10^{4,4} + 10^{3,6} + 10^{4,1} + 10^{4,6} + 10^{4,8}) = \\
 &= 10 \log 169714,5 = 52,3 \text{ дБА}.
 \end{aligned}$$

Требуемая звукоизоляция данного окна $R_{A \text{ тран}}$, рассчитанная по формуле (6.5) должна быть 22,7 дБА. Используя данные табл. 19, выберем стеклопакет, обладающий необходимой звукоизоляцией: симметричный стеклопакет 4 мм/ 12 / 4 мм с звукоизоляцией равной 26 дБА.

7. СПОСОБЫ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЯ ШУМА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

7.1. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И СТРОИТЕЛЬНО-АКУСТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Снижение уровня транспортного шума может быть достигнуто благодаря снижению интенсивности и шумности транспортных потоков. При организации грузовых перевозок определяют категорию грузов (строительные, промышленные, потребительские и т.д.) и используют для проезда специальные дороги в объезд центра. Организация транспортного потока также обеспечивает комфорт населения в дневное и в ночное время, прогнозируя уровни транспортного шума, уменьшение шума и так далее.

Система организационно-административных мероприятий предусматривает:

- 1) модернизацию содержания дорог и применение менее шумных типов дорожных покрытий;
- 2) установка на магистралях рациональной скорости движения;
- 3) исключение движения грузового транспорта;
- 4) улучшение условий движения на перегонах и пересечениях;
- 5) увеличение парка общественного транспорта в городе и повышение его конкурентоспособности по сравнению с индивидуальными транспортными средствами по скорости, а также развитие велосипедного транспорта, обустройство велосипедных дорожек.

Стоит отметить, что снижение шума наземного транспорта путем использования шумопоглощающих дорожных покрытий является одним из весьма перспективных методов. На характеристики шума существенным образом влияет состав и состояние дорожного покрытия.

Бетонное покрытие на 2–3 дБА шумнее, чем асфальтовые, в дождь шум потока может возрасти на 5–6 дБА, а в снегопад снизиться на 3–5 дБА.

Большая часть затрат на шумоподавление в развитых странах связана с установкой шумозащитных сооружений, наиболее распространенными из которых в городах и на дорогах являются акустические экраны, а звукоизолирующим ограждением – двойные или тройные акустические защитные окна.

Звукоизоляция – это один из самых дешевых способов шумозащиты. При этом достигается акустическая эффективность (15–20 дБА), особенно в высоко- и среднечастотном диапазоне. Зачастую, для уменьшения низкочастотного шума использование только звукозащитных сооружений, недостаточно. На данный момент применяют десятки самых разных конструкций акустических экранов, которые могут быть разделены на 5 основных классов:

- 1) широкие акустические экраны;
- 2) акустические экраны – стенки;
- 3) комбинированные акустические экраны;
- 4) гибридные акустические экраны;
- 5) экранные комплексы.

Весьма эффективным является использование тоннелей, построенных открытым способом или щитовой проходкой. Кроме снижения уличного шума использование подземного пространства для прокладки магистралей улучшает условия передвижения людей.

Наибольшее распространение получили акустические стенки – это экраны, которые имеют самое разнообразное исполнение и изготавливаются из самых различных материалов. Например, стенки можно делать из бетона, дерева и других материалов. Главный недостаток таких конструкций – наличие звукоотражающего эффекта, который может усиливаться, если подобные сооружения устанавливать параллельно друг другу. Эффективность экранов такого типа не превышает 5–12 дБА.

7.2. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Для снижения внешнего шума автомобилей самыми эффективными считаются методы:

- установка глушителей шума на впуске и выпуске двигателя;
- улучшения качества трансмиссии;

- вибродемпфирование коробки передач;
- улучшение качества дорожного покрытия;
- предотвращения износа шин;
- звукоизоляция и звукопоглощение внешних источников шума автомобиля.

7.3. ШУМОЗАЩИТА ЗЕЛЕНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ

Зеленым насаждениям принадлежит важнейшее значение в шумозащите. Важно отметить, что обычные городские посадки из отдельно стоящих деревьев не обладают никаким шумозащитным эффектом. Но этим 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 шахматная или рядовая, все подкروновое пространство должно быть заполнено кустарником.

При проектировании шумозащитных полос зеленых насаждений необходимо учесть ее высоту, скорость роста, форму и плотность кроны, устойчивость по отношению к внешним факторам. Применяемые древесно-кустарниковые растения по размерам делятся на:

1) 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;

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

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

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

Стоит учитывать, что в холодное время года лиственные деревья сбрасывают листву, тем самым их шумозащитный эффект уменьшается до нуля. Посадки хвойных пород деревьев эффективно снижают шум в течение всего года. Поэтому более эффективно вводить в шумозащитные полосы именно хвойные породы деревьев. Также нужно учесть, что в городе эти деревья зачастую плохо растут и поэтому их применение весьма ограничено.

При проектировании следует учитывать тот факт, что высота деревьев должна быть на 1,5–2 м и выше линии, соединяющей акустический центр транспортного потока с расчетной точкой на уровне середины окон последнего этажа защищаемого от шума здания.

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 должно способствовать большему поглощению звука в приземной зоне.

Создание в городах зеленых насаждений выгодно потому, что они не только являются весьма эффективным средством против распространения шума, который в результате уменьшения на 7–9 дБА, в летние месяцы на 3–4 дБА, зимой, но и задерживают пыль и вредные химические вещества [9].

Зеленые насаждения из деревьев и кустарников снижают распространение шума в приземном пространстве. Часть звуковой энергии отражается, как от экрана, а другая, большая ее часть, поглощается.

Расчет снижения шума зелеными насаждениями шириной Z проводят по формуле [6]:

$$L_{\text{знас}} = Z\beta, \quad (7.1)$$

где β – удельное снижение уровня звукового давления зелеными насаждениями, дБ/м [10].

Т а б л и ц а 32

Удельное снижение уровня звукового давления зелеными насаждениями

Характер зеленых насаждений	Значения β , дБ/м, в диапазоне частот, Гц				
	200–400	400–800	800–1600	1600–3200	1600–3200
Крона сосен	0,08–0,11	0,13–0,15	0,14–0,15	0,16	0,19–0,20
Сосновый лес	0,10–0,11	0,10	0,10–0,15	0,16	0,14–0,20
Крона елей	0,10–0,12	0,14–0,17	0,18	0,14–0,17	0,23–0,30
Лиственный лес	0,05	0,05–0,07	0,08–0,10	0,11–0,15	0,17–0,20
Зеленая густая изгородь	0,13–0,15	0,15–0,17	0,18–0,35	0,20–0,40	0,30–0,50

Например, при посадке елей в качестве зеленого насаждения шириной 12 метров, уровень звука на частоте 1000Гц снижается на 2.16 дБА. Для достижения большего уровня снижения шума необходимы более широкая полоса насаждений, что не является эффективным средством снижения шума в городских условиях.

7.4. ШУМОЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ

Акустический шумозащитный экран (АЭ) – конструкция, возводимая вдоль автомагистралей и железнодорожных путей для уменьшения шума. Они располагаются, как правило, на высокоскоростных магистралях, проходящих мимо жилых и офисных районов.

Шумозащитные экраны защищают от шума близлежащие дома, а также места скопления людей (остановки общественного транспорта, парки). Установка таких конструкций экономически обоснована в густонаселенных районах, где трассирование дороги на расстоянии от жилых и офисных зданий невозможно.

Акустический шумозащитный экран действует, используя несколько принципов акустической защиты: поглощение и отражение звука. Эффект снижения шума экраном достигается за счет звуковой тени образующейся за АЭ. Главным оценочным параметром экрана является акустическая эффективность. На акустическую эффективность влияет большое количество факторов.

Приближение акустического экрана к источнику – не всегда возможная мера (например, этот метод распространен для уменьшения шума от подвижного состава на железной дороге, но имеет свои ограничения при проектировании автомобильных дорог). Таким образом, основным способом повышения эффективности акустического экрана, является увеличение его высоты и протяженности.

При установке акустического экрана необходимо рассматривать соотношение между достижением требуемого эффекта снижения шума и стоимостью производства, установки и эксплуатации экрана.

Материал, из которого изготавливается экран, очень сильно влияет на его стоимость и эффективность. Звукопоглощающие материалы, которые применяются для облицовок или заполнения экрана, должны обладать стабильными физико-механическими и акустическими показателями в течение всего периода эксплуатации, не выделять в окружающую среду

вредных веществ в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации для атмосферного воздуха.

Для повышения эффективности звукопоглощающих облицовок, следует закреплять их на жестком основании непосредственно на поверхности экрана. Для защиты звукопоглощающего материала от попадания влаги следует применять защитное покрытие в виде пленки. Снаружи экраны со звукопоглощающей облицовкой должны быть покрыты перфорированными листами из металла или пластика.

Акустические экраны по типу используемого материала и отражающим или поглощающим свойствам, можно поделить на 2 группы:

- однослойные (отражающие);
- двух- или трехслойные (как правило, поглощающие).

В первой группе акустические экраны отражают звуковую энергию, а во второй в конструкции акустического экрана, наряду с отражающими свойствами, обеспечивается звукопоглощение. Экраны изготавливаются из бетона, кирпича, дерева, пластиков, стекла и др. Основные свойства этих экранов – отражение звука. Они имеют меньшую эффективность, чем АЭ со звукопоглощающими материалами. Чтобы уменьшить отражение звука от однослойного акустического экрана, в бетонную смесь подмешивают древесные материалы. Благодаря этому акустический экран, не имея хороших звукопоглощающих свойств, способен на определенные свойства звукопоглощения.

Выбор материала акустического экрана определяется эффективностью конструкции, внешним видом, стоимостью, условиями эксплуатации.

Главными параметрами экрана считаются его высота и длина. Этими параметрами достигаются различные принципы снижения шума. Высотой АЭ создается зона акустической тени, снижающая эффект дифракции через верхнее ребро. Длина акустического экрана выбирается так, чтобы обеспечить затухание звука, проникающего через боковую грань АЭ. Даже для того, чтобы защитить одиночное строения от шума транспорта, длина АЭ должна быть несколько сот метров.

Обычно акустические экраны устанавливаются как вертикальные конструкции. Зачастую акустические экраны проектируют Г-образными, при этом верхняя часть экрана называется козырьком.

Конструкцию шумозащитного сооружения определяют следующие факторы:

- высота и протяженность сооружения;

- наличие местных строительных материалов;
- климатические параметры;
- безопасность движения
- обеспечение необходимого расстояния видимости;
- эстетические качества;
- возможность отвода земли под сооружения;
- обслуживание прилегающей застройки;
- возможность комбинации шумозащитных сооружений с гаражами и другими объектами.

Экраны делятся на несколько видов.

А. По типу защиты от шума:

- а) звукопоглощающие
- б) звукоотражающие
- с) комбинированные

В. По светопрозрачности:

- а) прозрачные
- б) тонированные
- с) непрозрачные
- д) с прозрачными вставками

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.

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.

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 уровень 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.

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.

Придорожные шумозащитные экраны являются одним из наиболее акустически эффективных и экономически относительно недорогих средств снижения транспортного шума, которые защищают от шума не только здания, но и расположенную за экранами 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-стен и лишь затем отличительные особенности, связанные непосредственно с видом экрана.

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) [11].

Основной характеристикой определяющей акустические качества шумозащитного экрана-стенки является его высота. При проложении автомобильной дороги в выемке – глубина и уклоны откосов выемки. При экранировании прилегающей территории шумозащитным валом – высота и ширина верха шумозащитного вала.

Акустическая эффективность экрана зависит от разности длин путей звукового луча δ , определяемой в соответствии со схемой, представленной на рис. 12 по формуле:

$$\delta = a + b - c, \quad (7.2)$$

где δ – разность длин путей звукового луча, м; a – кратчайшее расстояние между акустическим центром источника шума и верхней кромкой экрана, м; b – кратчайшее расстояние от верхней кромки экрана до расчетной точки, м; c – кратчайшее расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м.

Расстояния a , b , c определяются с точностью до долей метра по формулам:

$$a = \sqrt{S_1^2 + (h_{\text{экp}} + h_{\text{иш}})^2}, \quad (7.3)$$

$$b = \sqrt{S_2^2 + (h_{\text{экp}} - h_{\text{рt}})^2}, \quad (7.4)$$

$$c = \sqrt{(S_1 + S_2)^2 + (h_{\text{рt}} - h_{\text{иш}})^2}, \quad (7.5)$$

где $h_{\text{иш}}$ – высота источника шума над уровнем проезжей части, м; $h_{\text{экp}}$ – высота экрана, м; $h_{\text{рt}}$ – высота расчетной точки над уровнем земли, м; S_1 – расстояние от источника шума до экрана, м; S_2 – расстояние от экрана до расчетной точки, м.

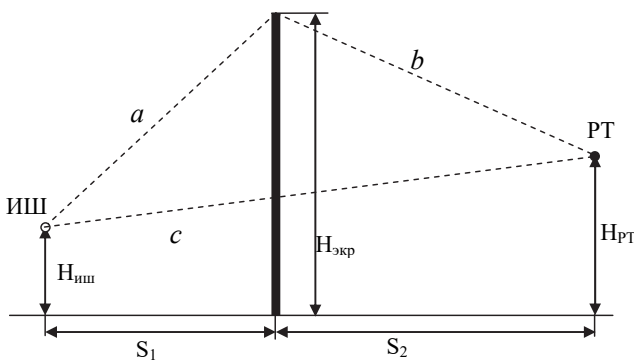


Рис. 12. Расчетная схема определения δ для экрана

При выполнении расчетов положение акустического центра источника шума назначается на высоте 1,00 м над уровнем проезжей части на оси проезжей части для двухполосных дорог или на оси наиболее удаленной от расчетной точки полосе движения в случае многополосных дорог.

Для ориентировочных расчетов величины a , b и c можно определять графически, представив в одинаковых горизонтальном и вертикальном масштабах расположение акустического центра источника шума, экрана и расчетной точки в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости экрана.

Шумопонижение экрана в зависимости от разницы путей прохождения звука δ определяется по формуле [5]:

$$\Delta L_{\text{экp}} = 18,2 + 7,8 \cdot \log(\delta + 0,2), \quad (7.6)$$

где $\Delta L_{\text{экp}}$ – шумопонижение экрана, дБА; δ – разница между геометрическим расстоянием источника шума – расчетная точка и кратчайшим расстоянием между источником шума, и расчетной точкой, a .

Произведем расчет по вышеприведенным формулам.

Т а б л и ц а 33

Исходные данные

	$h_{\text{иш}}, \text{ м}$	$h_{\text{рт}}, \text{ м}$	$h_{\text{экp}}, \text{ м}$	$S_1, \text{ м}$	$S_2, \text{ м}$
Одинарный экран 1	1	1,65	5	20	40
Одинарный экран 2	1	1,65	3	20	40

$$a = \sqrt{20_1^2 + (5+1)^2} = 20,88 \text{ м}; \quad b = \sqrt{40_2^2 + (5-1,65)^2} = 40,14 \text{ м};$$

$$c = \sqrt{(20+40)^2 + (1,65-1)^2} = 60,0 \text{ м}; \quad \delta = 21+40-60 = 1,017;$$

$$\Delta L_{\text{экp}} = 18,2 + 7,8 \cdot \log(1+0,2) = 18,9 \text{ дБА}.$$

Далее аналогично рассчитываем данные для второго экрана.

Полученные в ходе расчета значения также занесем в табл. 34.

Вычисленный в разделе 5 суммарный уровень звука в расчетной точке вблизи жилого дома составлял 65 дБА.

Таблица 34

Результаты расчета

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	δ	$\Delta L_{\text{экp}}, \text{дБА}$
Одинарный экран № 1	21	40	60	1	18,9
Одинарный экран № 2	20	40	60	0,04	13,3

Используя любой и двух экранов, можно снизить уровень звука в расчетной точке с 65 дБА до значения менее 55 дБА. Тем самым, можно добиться необходимого значения уровня шума, которое будет соответствовать требованиям санитарных норм [1].

Для расчета эффективности экранов с учетом частоты звука можно использовать формулу, определяющую $\Delta L_{\text{экp}}$ по величине коэффициента *K* [10]:

$$K = 0,05 \sqrt{f}^4 \sqrt{\frac{h^2 \left(\frac{1}{b}\right)^2}{1 + 4 \left(\frac{a}{b}\right)^2}}, \quad (7.7)$$

где *f* – частота звука, Гц; *h* – высота экрана, м; *l* – длина экрана, м; *a* – расстояние от экрана до источника шума, м; *b* – расстояние от экрана до тротуара, м.

Таблица 35

Эффективность экрана в зависимости от коэффициента *K*

<i>K</i>	0	0,5	1	1,5	2	3	4	5	7	10
$\Delta L_{\text{Э}}$	5	8	11	13,5	15	18	20	22	25	30

Таблица 36

Исходные данные

<i>f</i> , Гц	2000
<i>h</i> , м	4
<i>a</i> , м	2
<i>b</i> , м	20
<i>l</i> , м	30

$$K = 0,05\sqrt{2000}^4 \sqrt{\frac{4^2 \left(\frac{30}{20}\right)^2}{1 + 4 \left(\frac{2}{20}\right)^2}} = 3,05.$$

Следовательно, эффективность акустического экрана на частоте 2000 Гц равна 18 дБ. Аналогичный расчет можно произвести и для других частот.

Шумозащитные экраны целесообразно применять на автомагистралях с разрешенным движением грузовых дизельных автомобилей. В городе экраны применяются на автомагистралях с большой интенсивностью движения и при сильном шумовом загрязнении данной автомагистрали.

Примечание.

В учебном пособии в приведённых примерах расчёта уровня шума использованы материалы магистерской диссертации Туз А.С. «Анализ уровня шума вблизи транспортных магистралей», научный руководитель Парахин А.М.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых общественных зданий и на территории жилой застройки» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cih.ru/s2/368.html> – Загл. с экрана.
2. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1) [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/1200084097> – Загл. с экрана.
3. . Дьяков А.Б. Экологическая безопасность транспортных потоков. – М.; Транспорт, 1989. – 128 с.
4. *Поспелов П.И.* Борьба с шумом на автомобильных дорогах. – М.; Транспорт, 1981. – 88 с.
5. Отраслевой дорожный методический документ 218.2.013–2011 «Методические рекомендации по защите транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам». – М.; «Информатодор», 2011. – 121 с.
6. Пособие к МГСН 2.04–97 «Проектирование защиты от шума и вибрации инженерного оборудования в жилых и общественных зданиях». – М.; «Моско-мархитектура», 1999. – 11 с.
7. Журнал «Безопасность жизнедеятельности» № 3. – М.; «Новые технологии», 2009 г. – 54 с.
8. Руководство по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума / Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков и др. – М.; Стройиздат, 1982. – 31 с.
9. ОДМ ОС-362-р «Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения» – Введ. распоряжением Минтранса России 21.04.2003 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://nordoc.ru/doc/11-11830> – Загл. с экрана.
10. *Русак О.Н., Кондрасенко В.Я.* Безопасность жизнедеятельности в техносфере. Красноярск: изд-во Офсет, 2001. – 431 с.
11. ГОСТ 20444–2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Сведения об основных физических характеристиках шума	5
2. Гигиеническое нормирование шума. Допустимые уровни шума.....	8
3. Расчет шума, создаваемого автомобилями	11
3.1. Способы оценки шума потоков автомобилей	11
3.2. Расчет шума от одиночного автомобиля	14
3.3. Зависимость эквивалентного уровня шума от полосы движения автомобиля	17
3.4. Оценка эквивалентного уровня звука транспортного потока.....	18
4. Расчет уровня шума вблизи транспортных магистралей	20
4.1. Расчет шумовой характеристики транспортного потока (методика 1) ...	20
4.2. Расчет шумовой характеристики транспортного потока (методика 2) ...	25
4.3. Расчет ожидаемых уровней шума с учетом шума, создаваемого электротранспортом.....	28
5. Определение уровня шума вблизи жилых домов	34
6. Выбор шумозащитных окон	41
7. Способы и мероприятия по снижению уровня шума транспортных потоков.....	47
7.1. Организационные и строительно-акустические мероприятия.....	47
7.2. Мероприятия по снижению шума технических средств	48
7.3. Шумозащита зелеными насаждениями.....	49
7.4. Шумозащитные экраны.....	51
Библиографический список	60

Парахин Анатолий Михайлович

ШУМ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Учебное пособие

В авторской редакции

Выпускающий редактор *И.П. Брованова*

Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*

Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции

Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

Подписано в печать 25.11.2019. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 50 экз.
Уч.-изд. л. 3,72. Печ. л. 4,0. Изд. № 246. Заказ № 21. Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20