

На правах рукописи



БУТОРИНА Марина Вадимовна

РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ И МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ КАРТИРОВАНИЯ
ШУМА ТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

01.04.06 – Акустика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург
2020 г.

Работа выполнена в Балтийском государственном техническом университете
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Научный консультант:

Доктор технических наук, профессор

Заслуженный деятель науки РФ

Иванов Николай Игоревич

Официальные оппоненты:

Асминин В.Ф. – д.т.н., профессор, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова (Воронеж)

Овсянников С.Н. – д.т.н., профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ)

Элькин Ю.И. – д.т.н., профессор, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук»

Защита состоится «29» апреля 2021 г. в 13.00 на заседании диссертационного совета Д.212.010.01 в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., 1, ауд. ____.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и на сайте <http://voenmeh.ru/>

Автореферат разослан « ____ » марта 2021 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Дроздова Людмила Филипповна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Шум занимает одно из первых мест по массовости воздействия на население. В докладе Европарламента «Стратегия борьбы с шумом» указывается, что ежегодно в странах Евросоюза 50 тыс. человек преждевременно умирает от сердечных приступов, вызванных транспортным шумом; 200 тыс. человек страдает от сердечно-сосудистых заболеваний, связанных с уличным шумом. Данные о масштабах влияния транспортного шума на население Европы получены по результатам картирования, которое производится в соответствии с Директивой Европейского парламента 2002/49/ЕС по шуму в окружающей среде. В России подобные комплексные оценки не производятся, однако, по данным Роспотребнадзора под действием шума транспорта, превышающего допустимые уровни, находится более трети населения страны.

Вопросами изучения и снижения транспортного шума в жилой застройке в нашей стране занимались В.А. Аистов, А.В. Васильев, В.Н. Зинкин, Н.И. Иванов, О.А. Картышев, В.Ю. Кирпичников, Д.А. Куклин, Н.Н. Минина, Г.Л. Осипов, Н.В. Тюрина, А.Е. Шашурин, И.Л. Шубин, И.Е. Цукерников, Ю.И. Элькин, Е.Я. Юдин. За рубежом для решения проблем снижения шума транспорта созданы международные рабочие группы, реализующие проекты в области разработки расчетных методик для оценки транспортного шума и составления карт шума, такие как Harmonoise, Imagine и Cnossos, объединяющие специалистов из различных стран, таких как С. Барбаро, Д. ван Лювен, Д. ван Мэрке, Э. Верхейен, Х. Вольферт, Х. Йоханссон, П. Нельсон, В. Пробст, Д. Уоттс и другие.

В соответствии с существующей методикой карты шума разрабатываются на основании расчетов шумовых характеристик автомобильной или железной дороги, учитывающих интенсивность и скорость движения, а также другие характеристики транспортных потоков и дорог, по которым они передвигаются. Внедрение данного подхода на практике сталкивается с рядом проблем, таких как необходимость получить подробные данные об интенсивности, скорости и составе транспортных потоков, либо провести комплексные замеры шумовых характеристик, что бывает весьма затруднительно и трудоемко, в результате чего становится невозможным производить картирование шума комплексных территорий, таких как крупные мегаполисы, а также сети автомобильных или железных дорог.

Методика оценки шума авиатранспорта значительно устарела, она не отражает использование современных типов воздушных судов, в результате чего при построении карты шума аэропорта невозможно получить корректные результаты.

Кроме того, построение карты шума предполагает расчет распространения звука на территории застройки. Существующие методики позволяют оценить только снижение звука за линейным зданием, расположенным параллельно источнику шума, а также дифракцию звука за одно здание, чего явно недостаточно для оценки распространения шума вглубь реальной застройки и расчета снижения шума на экранирующих сооружениях сложной формы.

Предлагаемый в данной работе подход основывается на замене расчетов и измерений шумовых характеристик источников шума типовыми данными, полученными по результатам составления классификации источников, основанной на их технических характеристиках, опреде-

ленных в зависимости от категории дороги или железнодорожной линии, а также класса аэропорта. Для оценки дифракции в жилой застройке предложено рассмотреть основные варианты расположения зданий относительно источников шума и разработать математические модели и расчетные формулы, позволяющие оценить дифракцию высокого порядка (при наличии нескольких эшелонов зданий), а также снижение шума за зданиями наиболее распространенных в нашей стране форм. Полученные в ходе разработки настоящей работы данные являются основой методики построения карт шума, которые будучи внедренные в расчетную программу, позволяют разрабатывать карты шума с меньшими трудозатратами и с большей точностью.

С целью разработки методики для построения карт шума в диссертации разработан новый методический подход к оценке шумовых характеристик источников шума на основании их классификации, а также новый методический подход к оценке распространения звука в жилой застройке с учетом геометрической дивергенции, звукопоглощения, отражения и дифракции; выполнены теоретические и экспериментальные исследования, позволившие в натуральных условиях выполнить проверку полученных теоретических результатов, исследовать основные закономерности распространения звука в жилой застройке; на основании новых методических подходов разработаны научно обоснованные практические рекомендации для построения карт шума.

Диссертация посвящена решению проблемы снижения шума на территории городской застройки за счет разработки научных и методических основ картирования шума транспорта.

Целью работы является разработка научных и методических основ картирования шума транспорта на территории городской застройки на основании предложенной классификации источников по уровням шума, а также углубленного рассмотрения процессов дифракции шума в условиях реальной застройки.

Задачи исследования:

- разработка классификаций автотранспортных, железнодорожных и авиационных источников по фактору шума;
- обоснование оценки шумовых характеристик источников шума транспорта;
- разработка расчетных моделей распространения шума на территории застройки для стандартных вариантов застройки с учетом особенностей распространения звука (экранирования, дифрагирования, звукопоглощения, отражения, геометрической дивергенции);
- разработка научно-обоснованного инженерного метода для оценки дифракции за несколько зданий в застройке;
- выполнение теоретических исследований распространения и затухания звука от транспортных источников в городской застройке;
- разработка методики экспериментальных исследований, в том числе распространения шума источников в условиях городской застройки;
- выполнение экспериментальных исследований по уточнению и выявлению влияния геометрических параметров и других свойств элементов застройки на снижение шума;
- разработка новых принципов составления карт шума источников транспорта в жилой застройке, основанных на классификации источников шума, а также на разработанных схемах и математических моделях распространения шума в застройке;

- разработка рекомендаций по выбору шумозащитных мероприятий транспортных источников на основе классификации источников шума;
- разработка рекомендаций по выбору шумозащитных мероприятий исходя из типов жилой застройки;
- апробация предложенных решений на практике;
- разработка новых нормативно-технических документов с целью их практического использования при проектировании.

Научная новизна:

1. Предложен новый подход к составлению карт шума, заключающийся в оценке шумовых характеристик источников шума на основании разработанной классификации источников по уровням шума, а также на основании рассмотрения процессов дифракции в различных схемах расположения жилой застройки.
2. Разработана классификация автотранспортных, железнодорожных и авиационных источников по фактору шума в зависимости от их параметров.
3. Разработаны расчетные схемы и математические модели распространения шума на территории застройки для стандартных вариантов застройки с учетом особенностей распространения звука (экранирования, дифрагирования, звукопоглощения, отражения и геометрической дивергенции).
4. Разработан научно-обоснованный инженерный метод для оценки дифракции высокого порядка в застройке, дифракции при различных вариантах расположения зданий относительно источника шума, а также снижения шума в разрывах между зданиями.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Определены наименьшие размеры препятствий, которые не дают существенного экранирующего эффекта, а также обоснованы рекомендации по разбиению линейного источника на точечные.
2. Разработаны рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий транспортных источников на основе классификации источников шума, а также исходя из вариантов расположения жилой застройки, апробированные в процессе эксплуатации транспортных источников шума.
3. Разработаны принципы составления карт шума, на основе которых созданы ГОСТ Р 56394-2015 «Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта. Общие требования и методы построения», «Положение о разработке, утверждении и применении карт шума территорий, прилегающих к объектам инфраструктуры железнодорожного транспорта» (Утверждено Распоряжением ОАО «РЖД» от 11.01.2017 № 43р); СП 276.1325800.2016 «Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков».
4. Уточнена методика расчета шума поездов, на основе которой создан ГОСТ Р 54933-2012 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом», а также изменение №1 к ГОСТ 33325 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом».

5. Изучены закономерности снижения шума транспортных источников в городской застройке при наличии экранирующих сооружений, оценено влияние параметров экранирующих сооружений на снижение шума, определено снижение уровней шума в результате звукопоглощения фасадов зданий при использовании различных строительных материалов.
6. Оценены погрешности при построении карт шума.

Достоверность разработанных решений. Достоверность принятых допущений и теоретических моделей подтверждена серией экспериментов, выполненных в натуральных условиях. Корректность экспериментальных результатов подтверждается использованием прецизионной акустической аппаратуры, а также современных методик акустических испытаний и обработки информации.

Апробация работы. Результаты научных исследований и основные положения диссертации докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Экология и БЖД» БГТУ «ВОЕНМЕХ», (2004, 2005, 2006, 2007, 2018, 2019, 2020 гг.); Научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», Санкт-Петербург, 21-22 марта 2006 г; Четвертой Всероссийской школе-семинаре с международным участием «Новое в теоретической и прикладной акустике» СПб, 21 ноября 2007; II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», Санкт-Петербург, 17-19 марта 2009 г.; Международном экологическом форуме «Экология большого города», 17-19 марта 2010, Санкт-Петербург; IV Международной научно-практической конференции «Автотранспорт: от экологической политики до повседневной практики», 2010; III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», Санкт-Петербург, 22-24 марта 2011 г.; IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», Санкт-Петербург, 26-28 марта 2013 г.; V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», Санкт-Петербург, 18-20 марта 2015 г.; Инженерно-практической конференции «Устойчивое развитие дорожно-транспортной отрасли: инновации и антикризисные меры», Санкт-Петербург, 2015; VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации», Санкт-Петербург, 21-23 марта 2017 г.; V Международного экологического конгресса «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов», Самара, сентябрь 2017; VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации», Санкт-Петербург, 21-23 марта 2019 г.

Публикации: по материалам диссертации опубликовано 104 научные работы, из них 6 нормативных документов и 98 публикаций, из них – 17 статей, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК, 14 статей, входящих в международные базы цитирования WoS и/или Scopus, 58 работ в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций, 8 публикаций в других источниках и 1 монография.

Внедрение результатов исследования. На основании исследований с участием автора разработаны три государственных стандарта, два стандарта организаций и строительные правила.

Разработаны карты шума для более чем 50 проектов строительства и реконструкции автомобильных дорог, железных дорог, аэропортов, промышленных объектов, позволившие выбрать эффективные мероприятия для снижения шума до нормативных требований. Наиболее масштабным проектом является разработка карты шума г. Санкт-Петербурга, которая была выполнена для единственного мегаполиса России. Кроме того, разработаны карты шума Октябрьской железной дороги на участках Санкт-Петербург – Москва и Санкт-Петербург – Бусловская, железной дороги Сочи – Альпика-Сервис, железной дороги Москва – Нижний Новгород, участка Мга – Гатчина – Веймарн – Ивангород, участков Московских центральных диаметров (МЦД) и др.; автомобильных дорог: скоростная платная автомобильная дорога Санкт-Петербург-Москва (М-1), обход г. Сергиев Посад, автомобильная дорога М-4 «Дон» и др.; аэропорта «Пулково» и ряда промышленных объектов. Результаты данной работы были положены в основу адаптации международной программы SoundPLAN, мирового лидера по расчету уровней шума, к требованиям российского законодательства.

На защиту выносятся:

- классификация автотранспортных, железнодорожных и авиационных источников по фактору шума;
- расчетные и математические модели распространения шума на территории застройки для различных вариантов расположения застройки с учетом особенностей распространения звука (экранирования, дифрагирования, звукопоглощения и отражения);
- научно-обоснованный инженерный метод для оценки дифракции за одно и несколько зданий в застройке, а также дифракции в случае расположения экранирующих сооружений непараллельно источнику шума;
- результаты теоретических исследований распространения и затухания звука от транспортных источников в городской застройке;
- разработанная методика экспериментальных исследований, в том числе: распространения шума источников в условиях городской застройки;
- результаты экспериментальных исследований по оценке транспортного шума, а также уточнению и выявлению влияния геометрических параметров и других свойств элементов застройки на снижение шума;
- новые принципы составления карт шума источников транспорта в жилой застройке;
- рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий для транспортных источников на основе классификации источников шума и рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий исходя из типов жилой застройки.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, списка литературы из 333 наименований и пяти приложений. Диссертация содержит 300 стр. основного текста, в том числе 123 рисунка, 51 таблицу, а также 85 стр. приложений.

Краткое содержание работы

Во введении отражены актуальность темы исследования, степень ее разработанности, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе проанализировано состояние проблемы, обоснованы основные направления и задачи исследования. Объектами данного исследования являются автомобильные дороги, железные дороги и аэропорты (рассматриваемые как источники шума), а также городская застройка (с точки зрения распространения шума). Предметом исследования является распространение шума объектов исследования. При выполнении работы использованы методы теоретического анализа, экспериментальные исследования и математическое моделирование процессов распространения шума.

Проанализированы процессы шумообразования потоков автомобильного, железнодорожного и воздушного транспорта. Шум транспортного потока зависит, в первую очередь, от излучательной способности единичного источника, интенсивности движения транспортных средств и их скорости. Кроме того, на шумовую характеристику потоков наземного транспорта влияет ряд различных факторов, таких как состав потока, режим движения (ускорение, торможение), наличие пересечений в разных уровнях, состояние дороги или железнодорожного пути, состояние колес. Для потоков воздушного транспорта необходимо учитывать длину взлетно-посадочной полосы, мощность, развиваемую воздушным средством, боковую направленность и боковое затухание.

Все влияющие факторы, которые можно оценить численно, учтены в расчетных методиках по оценке шума транспорта. В работе обосновано, что расчет по зарубежным и российским методикам дает различные результаты. Применение зарубежных методик не может быть реализовано на территории РФ в связи с различными шумовыми характеристиками источников.

Снижение шума источников в открытом пространстве зависит от длины рассматриваемого участка, определяется процессами геометрической дивергенции, поглощения и отражения звука поверхностью земли, поглощения в атмосфере и рассеивания звука в зеленых насаждениях или в промышленных конструкциях. В работе проанализированы процессы распространения звука в застройке. В настоящее время достаточно изучена только дифракция на тонких экранах, расположенных параллельно источнику шума. Сделан вывод, что подходы к определению эффективности широкого экранирующего сооружения при наличии дифракции на двух и более кромках не позволяют учесть его акустические свойства, а также не позволяют учесть экранирующие объекты сложной формы, отсутствуют модели для оценки расположения экранирующего объекта, отличающегося от стандартных ситуаций.

Описаны методы построения карт шума, которые основываются на расчетных методиках, показано, что расчетные программы выдают различные результаты расчета, что не позволяет корректно оценить акустическую ситуацию и разработать эффективные шумозащитные мероприятия. Определена необходимость выработки единого подхода к разработке карт шума.

Выполнен анализ методов снижения шума в источнике образования и на пути распространения. Основными методами снижения шума являются конструктивные методы по снижению шума самого источника, а также установка на пути распространения шума экранирующих сооружений и применение шумозащитного остекления. Шумозащитные мероприятия должны выбираться исходя из классификации источников шума, учитывающей их основные характеристики.

Во второй главе предложен новый подход к построению карт шума, основанный на разработке расчетных схем и математических моделей распространения шума на территории застройки для различных вариантов застройки с учетом особенностей распространения звука. В целях реализации данного подхода разработана теория дифракции звука в застройке и выполнены теоретические исследования. В разработанной теории здания различных форм рассматриваются как вторичные излучатели шума в соответствии с принципом Гюйгенса. Вторичные излучатели преобразуют звуковое поле источника шума на пути его распространения до расчетной точки. В ходе преобразования учитываются геометрические размеры зданий и звукопоглощающие свойства их фасадов, варианты расположения зданий в пространстве по отношению друг к другу и к источнику шума и отражение шума от элементов рассматриваемых зданий.

Основные положения теории:

1. В разработанной теории использованы положения волновой, геометрической и статистической теорий акустики.

2. Звуковое поле на территории застройки формируется вкладом вторичных источников шума. Здание рассматривается как вторичный линейный или плоский излучатель звука, который может быть аппроксимирован набором точечных некогерентных вторичных излучателей шума. Точечные излучатели практически не рассматриваются в связи с весьма ограниченными расстояниями между зданиями в городской застройке.

3. При оценке дифракции учитывается принцип Гюйгенса-Кутруфа: препятствие экранирует нижние вторичные источники, таким образом, что только оставшиеся верхние вторичные источники формируют фронт волны за экраном. При оценке дифракции учитывается путь звукового луча, огибающего препятствие.

4. В замкнутом дворе за препятствием формируется квазидиффузное звуковое поле.

5. Отражение от элементов здания учтено при помощи метода мнимых источников звука, учитывается отражение только первого порядка, дающее максимальный вклад в уровни шума в расчетной точке.

6. При распространении шума за здание учитываются явления отражения, поглощения, дифракции и геометрической дивергенции звука.

В качестве основных допущений теории принято, что источник шума линейный и ненаправленный, рассматриваемые процессы линейны. Расчеты производятся для территории по эквивалентным уровням звука, которые наиболее точно отражают шумовую характеристику источника и применяются для построения карт шума. В теории учитывается коэффициент дифракции $\beta_{диф}$, который принимается равным $1/\pi$, что подтверждается проведенным анализом работ З. Маекавы, А. Пирса и Н.В. Тюриной. В теории не учитывается явление интерференции, а также собственная полная звукоизоляция здания, поскольку здания имеют достаточно большую ширину, а

их ограждающие конструкции изготовлены из материалов с высокими звукоизолирующими свойствами, которые значительно превышают величину снижения уровня шума за зданием, обусловленную дифракцией.

При рассмотрении процессов геометрической дивергенции поток транспорта принимается линейным источником, излучающим цилиндрическую звуковую волну. Здание, находящееся на пути распространения звука, выступает плоским или линейным источником конечных размеров. Границы перехода одного типа волн в другой указаны в таблице 1.

Основное отличие разработанной в данной работе теории от работ других авторов заключается в предположении, что звук от источника шума сразу попадает к верхнему свободному ребру препятствия, и распространяется за него с учетом метода огибания, учитывающего линейное распространение звуковой волны, зависящее от линейных параметров препятствия (в том числе его ширины, которая в случае зданий весьма значительна). Коэффициент дифракции принимается на одном ребре, таким образом влияние угла дифракции не является переоцененным, что позволяет избежать погрешности расчетов. Еще одним отличием является то, что, поскольку расчеты производятся в уровнях звука, частотно-зависимая составляющая (длина волны) в формулах не учитывается. Разработанная теория позволяет рассмотреть дифракцию высокого порядка, а также распространение звука при более сложных случаях расположения объектов.

Таблица 1. Характер звуковой волны и расчетные формулы

Характер звуковой волны	Условия	Формула для расчета
Плоская	$R \leq 0,4\sqrt{S}$	$I_{PT} = \frac{W_{уст}}{\pi h} \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}}$
Квазиплоская	$0,4\sqrt{S} \leq R \leq \frac{l}{\pi}$	
Цилиндрическая	$R \leq \frac{l}{\pi}$	$I_{PT} = \frac{W_{уст}}{2\pi R} \arctg \frac{l}{2R}$
Квазиплоская	$\frac{l}{\pi} \leq R \leq 2l$	
Сферическая	$R \geq 2l$	$I_{PT} = \frac{W_{уст}}{\Omega R^2}$
R – расстояние от источника шума до расчетной точки, м; h, l – высота и длина излучателя (здания), м; S – площадь излучателя, м ² ; $W_{уст}$ – акустическая мощность источника звука, Вт; Ω – пространственный угол излучения		

С использованием вышеуказанного подхода было произведено математическое моделирование для основных случаев распространения звука в жилой застройке, описанных при помощи 11 расчетных схем расположения зданий относительно линейного источника шума (транспортного потока). Расчетные схемы приведены в таблице 2.

При выводе формул учтены поглощающие свойства зданий, а также линейные параметры вторичного излучателя, которым выступает само здание либо проем или разрыв между зданиями.

Таблица 2. Расчетные схемы

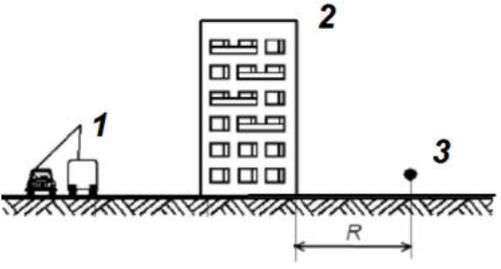
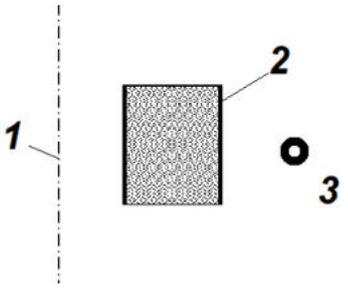
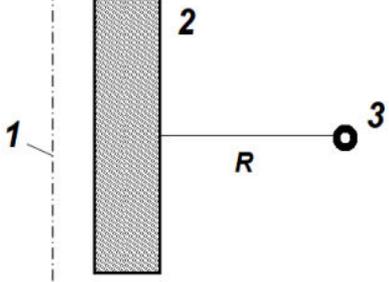
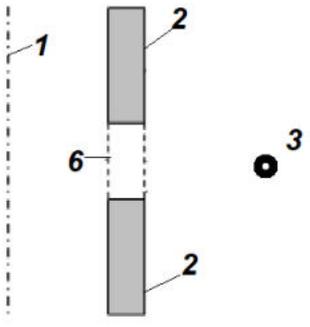
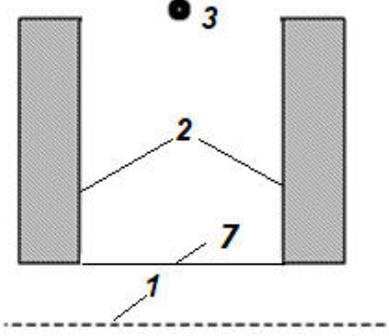
№	Схема	Описание	Особенности распространения звука
1.	 <p>Diagram 1 shows a sound source (1) represented by a car and a truck behind a tall building (2). A receiver (3) is located at a distance R behind the building. The ground is indicated by a hatched line.</p>	<p>Звук дифрагирует за отдельно стоящее здание в различные точки, расположенные за зданием на небольших расстояниях</p>	<p>Дифракция за линейное протяженное здание через его верхнюю грань; учитывается поглощение звука зданием</p>
2.	 <p>Diagram 2 shows a sound source (1) behind a rectangular building (2). A receiver (3) is located to the right of the building. A dashed vertical line indicates the source's position.</p>	<p>Звук распространяется за отдельно стоящее точечное здание</p>	<p>Дифракция за точечное высокое здание через его торцевые грани; учитывается поглощение звука зданием</p>
3.	 <p>Diagram 3 shows a sound source (1) behind a tall building (2). A receiver (3) is located at a distance R from the building. A dashed vertical line indicates the source's position.</p>	<p>Звук распространяется за здание в РТ, расположенную вдали от него на значительных расстояниях R</p>	<p>Распространение звука от неэкранированных частей линейного источника шума</p>
4.	 <p>Diagram 4 shows a sound source (1) behind two buildings (2) with a gap (6) between them. A receiver (3) is located to the right. A dashed vertical line indicates the source's position.</p>	<p>Звук проникает в РТ через проем между зданиями</p>	<p>Затухание за проемом между зданиями в результате частичного экранирования источника зданиями</p>
5.	 <p>Diagram 5 shows a sound source (1) behind two buildings (2) with a gap (7) between them. A receiver (3) is located above the gap. A dashed horizontal line indicates the source's position.</p>	<p>Звук распространяется в разрыв между параллельными зданиями, затухая и отражаясь от фасадов</p>	<p>Учитывается отражение звука от параллельных фасадов зданий, расположенных перпендикулярно источнику шума</p>

Таблица 2 (продолжение)

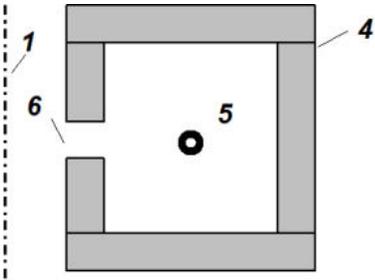
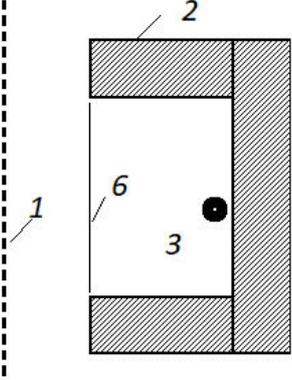
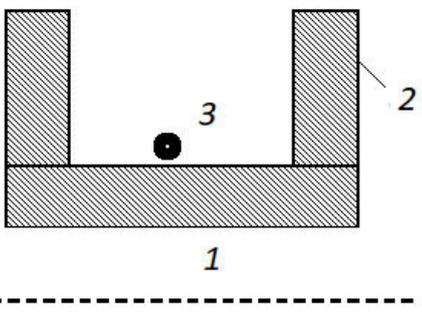
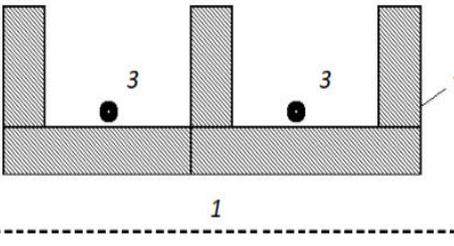
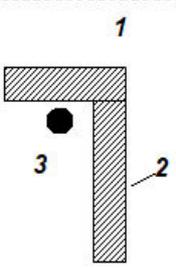
№	Схема	Описание	Особенности распространения звука
6.		<p>Звук проникает через проем (арку) и переотражается в замкнутом объеме</p>	<p>Учитывается отражение звука в замкнутом объеме; оценено снижение экранирующего эффекта здания при наличии арки</p>
7.		<p>Звук переотражается в П-образном дворе здания, развернутом в сторону транспортного потока</p>	<p>Учитывается отражение звука в не полностью замкнутом объеме, развернутом в сторону транспортного потока</p>
8.		<p>Звук переотражается в П-образном дворе здания, отвернутом от дороги</p>	<p>Дифрагирование звука за верхнюю грань здания; увеличение экранирующего эффекта перпендикулярными частями здания; учитывается отражение звука в не полностью замкнутом объеме</p>
	<p>Звук переотражается в Ш-образном дворе здания, отвернутом от дороги</p>		
9.		<p>Звук распространяется за Г-образное здание, затухая за ним и отражаясь от фасада, перпендикулярного дороге</p>	<p>Дифрагирование за верхнюю грань здания; экранирование при наличии перпендикулярной части здания, отражение звука от нее</p>

Таблица 2 (продолжение)

№	Схема	Описание	Особенности распространения звука
10.		Звук распространяется за здания, расположенные параллельно источнику шума	Дифракция за несколько рядов зданий
11.		Звук распространяется в «боковой проем», затухая и отражаясь от фасада близ расположенного здания	Затухание звука за проемом с поворотом на 90°, учитывается поглощение звука перпендикулярным фасадом
Обозначения на схемах: 1 – транспортный поток, 2 – здание, 3 – расчетная точка, 4 – здание, образующее замкнутый объем, 5 – расчетная точка внутри объема, 6 – проем, 7 – разрыв			

Дифракция звука за протяженное здание в условиях плотной застройки. Расчетная схема приведена на рис. 1.

Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке, расположенной в поле плоской и квазиплоской волны осуществляется по формуле:

$$L_{APТ} = L_{A_{эке}} + 10\lg(1 - \alpha_{зд}) + 10\lg \beta_{диф} - 10\lg \frac{a}{r_0} + 10\lg \operatorname{arctg} \frac{l}{2a} + 10\lg \operatorname{arctg} \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}} - 10\lg \pi^2 \quad (1),$$

в поле цилиндрической или квазичилиндрической волны – по формуле:

$$L_{APТ} = L_{A_{эке}} + 10\lg \frac{h}{r_0} + 10\lg(1 - \alpha_{зд}) + 10\lg \beta_{диф} - 10\lg \frac{a}{r_0} - 10\lg \frac{R}{r_0} + 10\lg \operatorname{arctg} \frac{l}{2a} + 10\lg \operatorname{arctg} \frac{l}{2R} - 10\lg 2\pi^2 \quad (2),$$

где $L_{A_{эке}}$ – УЗ у верхнего ребра здания (определяется по стандартизованным методикам, предназначенным для оценки распространения звука в открытом пространстве), дБА; l – длина здания, м; a – ширина здания, м; h – высота здания, м; R – расстояние от здания (вторичного источника шума) до расчетной точки, м; r_0 – базовое расстояние для определения шумовой характеристики источника, м; $\alpha_{зд}$ – коэффициент звукопоглощения здания; $\beta_{диф}$ – коэффициент дифракции.

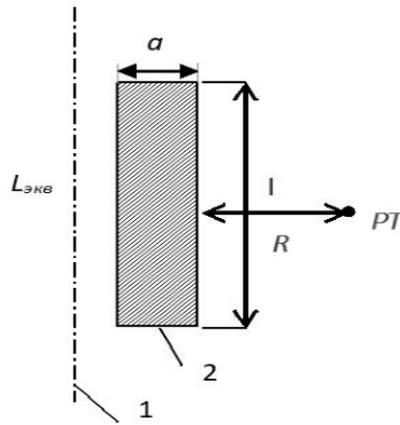


Рис. 1. Схема расчета проникновения звука через протяженное здание:
1 – транспортный поток, 2 – здание, РТ – расчетная точка

Дифракция звука за точечное здание. Расчетная схема приведена на рис. 2.

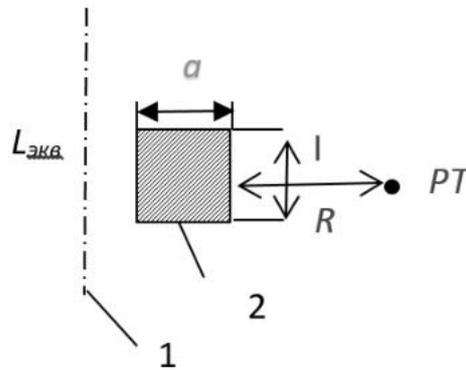


Рис. 2. Схема расчета проникновения звука точечное здание:
1 – транспортный поток, 2 – здание, РТ – расчетная точка

Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке, расположенной в поле плоской и квазиплоской волны осуществляется по формуле:

$$L_{РТ} = L_{Аэкв} + 10 \lg(1 - \alpha_{зд}) + 10 \lg \beta_{диф} - 10 \lg \frac{a}{r_0} + 10 \lg \arctg \frac{h}{2a} + 10 \lg \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}} - 10 \lg \pi^2 \quad (3),$$

в поле цилиндрической или квазцилиндрической волны по формуле:

$$L_{РТ} = L_{Аэкв} + 10 \lg(1 - \alpha_{зд}) + 10 \lg \beta_{диф} - 10 \lg \frac{a}{r_0} - 10 \lg \frac{R}{r_0} + 10 \lg \arctg \frac{h}{2a} + 10 \lg \arctg \frac{h}{2R} - 10 \lg 2\pi^2 \quad (4).$$

Условные обозначения те же, что в формулах (1) и (2).

Дифракция звука на значительные расстояния за здание. Расчетная схема приведена на рис. 3.

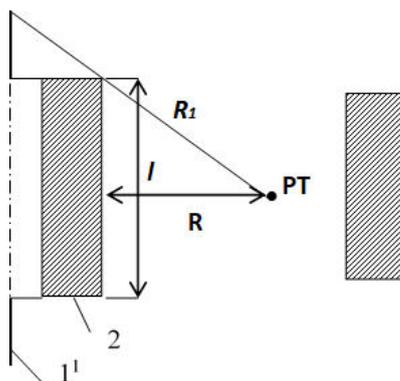


Рис. 3. Расчетная схема, когда РТ расположена на расстоянии $R > l/\pi$
 $1'$ – часть транспортного потока, которая излучает звук в РТ, 2 – здание

Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке осуществляется по формуле:

$$L_{АРТ} = L_{Аэкв} - 10 \lg \frac{R_1}{r_0} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l}{2\pi R_1} - 10 \lg 2\pi, \quad (5),$$

R_1 – расстояние от источника шума до расчетной точки, м.

Распространение шума за проемом между зданиями. Расчетная схема приведена на рис. 4.

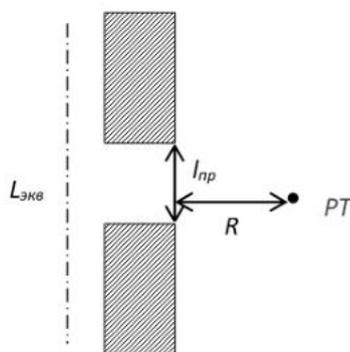


Рис. 4. Расчетная схема проникновения звука в РТ через проем
 Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке осуществляется по формуле:

$$L_{АРТ} = L_{Аэкв} - 10 \lg \frac{R}{r_0} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_{пр}}{2R} - 10 \lg \pi \quad (6),$$

$l_{пр}$ – длина проема, м.

Распространение шума между зданиями через разрыв. Расчетная схема приведена на рис. 5.

Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке осуществляется по формуле:

$$L_{АРТ} = L_{Аэкв} + 10 \lg \left(\operatorname{arctg} \frac{l_p}{2b_p} + \frac{4(1-\alpha_{зд})}{l_p} \operatorname{arctg} \frac{b_p}{l_p} \right) - 10 \lg 2\pi \quad (7),$$

l_p – длина разрыва, м; b_p – ширина разрыва, м.

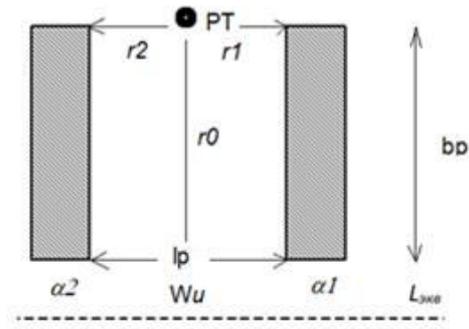


Рис. 5. Расчетная схема проникновения звука в РТ через разрыв между зданиями

Распространение шума во дворе-колодце через арку. Расчетная схема приведена на рис.

6.

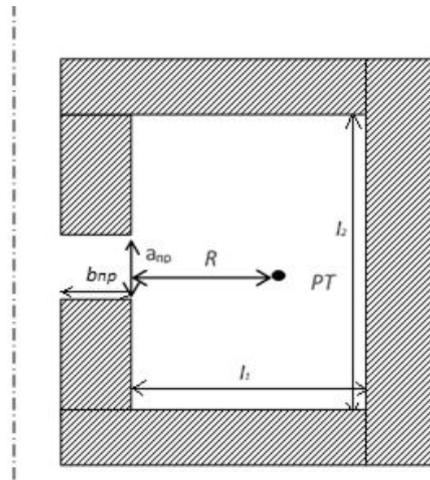


Рис. 6. Расчетная схема определения уровня звука, распространяющегося через проем в замкнутый объем

Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке осуществляется по формуле:

$$L_{APT} = L_{Aэкв} + 10 \lg \left[\frac{1}{\pi} \arctg \frac{a_{np} b_{np}}{2R \sqrt{4R^2 + a_{np}^2 + b_{np}^2}} + \frac{a_{np} b_{np} (1 - \alpha_{з.о.})}{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i} \right] \quad (8),$$

a_{np} – длина проема, м; b_{np} – ширина проема, м; α_i – коэффициент звукопоглощения i -той ограждающей поверхности, площадью S_i , м²; $\alpha_{з.о.}$ – средний коэффициент звукопоглощения замкнутого объема.

Распространение шума во дворе, развернутом к источнику шума (транспортному потоку). Расчетная схема приведена на рис. 7.

Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке осуществляется по формуле:

$$L_{APT} = L_{Aэкв} + 10 \lg \left[\frac{1}{\pi} \arctg \frac{a_{np}}{2R \sqrt{4R^2 + a_{np}^2}} + \frac{a_{np} (1 - \alpha_{з.о.})}{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i} \right] \quad (9).$$

Условные обозначения те же, что в формуле (8).

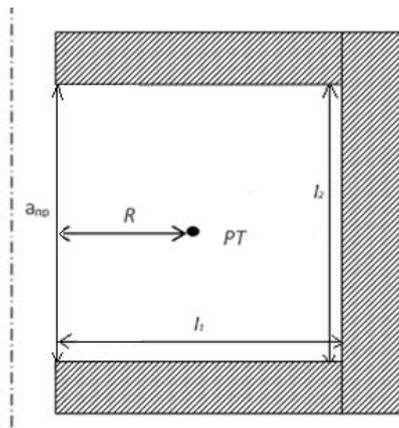


Рис. 7. Расчетная схема для определения уровня звука во дворе, развернутом к источнику шума

Распространение шума во дворе (П, Ш-образном), отвернутом от источника шума (транспортного потока). Расчетная схема приведена на рис. 8.

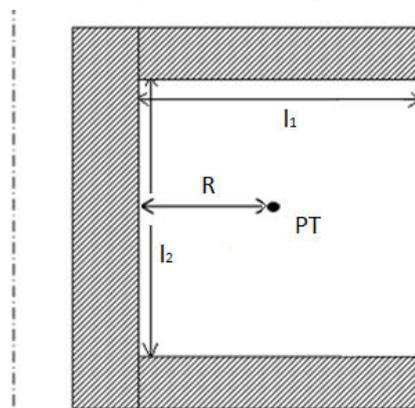


Рис. 8. Расчетная схема для определения уровня звука во дворе, отвернутом от источника шума

Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке, расположенной в поле плоской и квазиплоской волны осуществляется по формуле:

$$L_{APT} = L_{Aэкв} + 10 \lg \left[\frac{(1 - \alpha_{з0})}{\pi^3 a} \arctg \frac{l}{2a} \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}} + \frac{4l(1 - \alpha_{з.о.})}{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i} \right] \quad (10),$$

в поле цилиндрической или квазцилиндрической волны по формуле:

$$L_{APT} = L_{Aэкв} + 10 \lg \left[\frac{(1 - \alpha_{з0})h}{2\pi^3 aR} \arctg \frac{l}{2a} \arctg \frac{l}{2R} + \frac{4l(1 - \alpha_{з.о.})}{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i} \right] \quad (11).$$

Условные обозначения те же, что в формулах (1) и (8).

Затухание шума за Г-образным зданием. Расчетная схема приведена на рис. 9.

Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке осуществляется по формуле:

$$L_{APT} = L_{Aэкв} + 10 \lg(1 - \alpha_{з0}) + 10 \lg \left[\frac{h}{2\pi^2 aR} \arctg \frac{l}{2a} \arctg \frac{l}{2R} + \frac{2}{l} \arctg \frac{b}{l} \right] - 10 \lg \pi \quad (12),$$

b – длина фасада здания, перпендикулярного источнику шума, м.

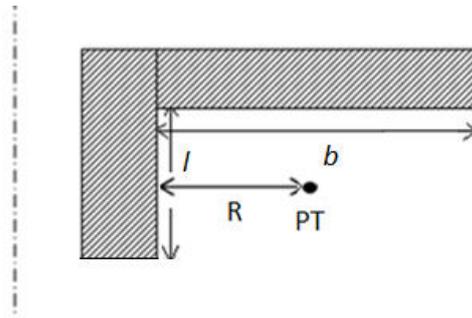


Рис. 9. Расчетная схема для определения уровня звука во дворе Г-образного здания
Дифракция звука за несколько рядов протяженных зданий. Расчетная схема приведена на рис. 10.

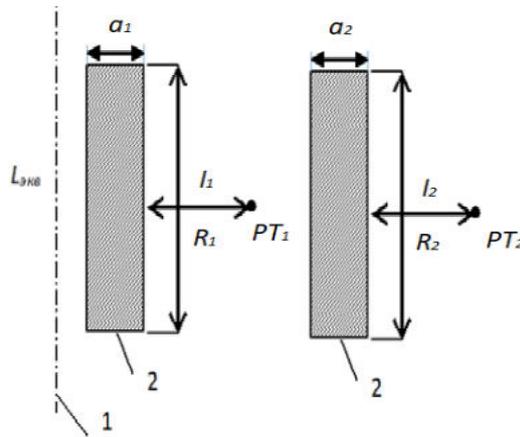


Рис. 10. Схема расчета проникновения звука через несколько протяженных зданий
 Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке, расположенной в поле плоской и квазиплоской волны осуществляется по формуле:

$$L_{APT} = L_{A_{экв}} + 10 \lg \frac{h_1}{r_0} + 20 \lg(1 - \alpha_{30}) + 10 \lg \beta_{диф} - 10 \lg \frac{a_1}{r_0} - 10 \lg \frac{R_1}{r_0} - 10 \lg \frac{a_2}{r_0} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_1}{2a_1} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_1}{2R_1} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_2}{2a_2} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_2 h_2}{2R_2 \sqrt{4R_2^2 + l_2^2 + h_2^2}} - 10 \lg \pi^4 \quad (13),$$

в поле цилиндрической или квазцилиндрической волны по формуле:

$$L_{APT} = L_{A_{экв}} + 10 \lg \frac{h_1}{r_0} + 20 \lg(1 - \alpha_{30}) + 10 \lg \beta_{диф} + 10 \lg \frac{h_2}{r_0} - 10 \lg \frac{a_1}{r_0} - 10 \lg \frac{R_1}{r_0} - 10 \lg \frac{a_2}{r_0} - 10 \lg \frac{R_2}{r_0} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_1}{2a_1} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_1}{2R_1} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_2}{2a_2} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_2}{2R_2} - 10 \lg \pi^4 \quad (14).$$

Условные обозначения те же, что в формуле (1) и на рис. 10.

Распространение шума в боковой проем между зданиями. Расчетная схема приведена на рис. 11.

Расчет уровня звука (дБА) в расчетной точке, расположенной в поле цилиндрической или квазцилиндрической волны по формуле:

$$L_{APT} = L_{A_{экв}} - 10 \lg \frac{R}{r_0} + 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{l_{np}}{2R} - 10 \lg \frac{\pi^2}{2} \quad (15),$$

в поле сферической волны:

$$L_{APT} = L_{Aэкс} + 10 \lg \frac{l_{np}}{r_0} - 20 \lg \frac{R}{r_0} - 10 \lg \frac{\pi^2}{2} \quad (16),$$

где l_{np} – длина проема, м.

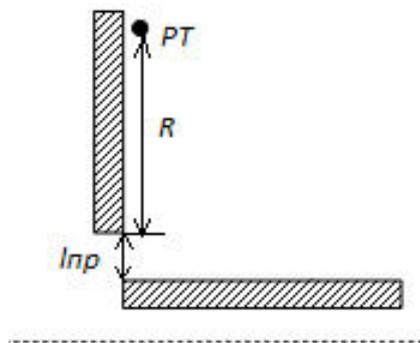


Рис. 11. Расчетная схема проникновения звука в РТ через «боковой» проем между зданиями

Теоретический анализ схем был выполнен при помощи расчетов, произведенных по разработанным формулам, с учетом граничных условий. В ходе анализа было исследовано влияние различных факторов на снижение уровней шума за зданиями.

Влияние звукопоглощения было проанализировано на примере схем 1 и 6. Анализ влияния звукопоглощения материала фасада на снижение уровней шума за зданием показывает, что при облицовке фасада поглощающими материалами дополнительное снижение может достигать величины от 1 до 5 дБА для наиболее распространенных строительных материалов и до 10 дБА при применении звукопоглощающего слоя минеральной ваты. Анализ влияния звукопоглощения покрытия замкнутого двора на снижение уровней шума во дворе показывает, что при наличии покрытия двора травой или рыхлым грунтом дополнительное снижение уровней шума за аркой во дворе-колодце составляет 2-3 дБА, если бы двор был засажен кустами, дополнительное снижение уровней шума составило бы до 6-8 дБА (рис. 12).

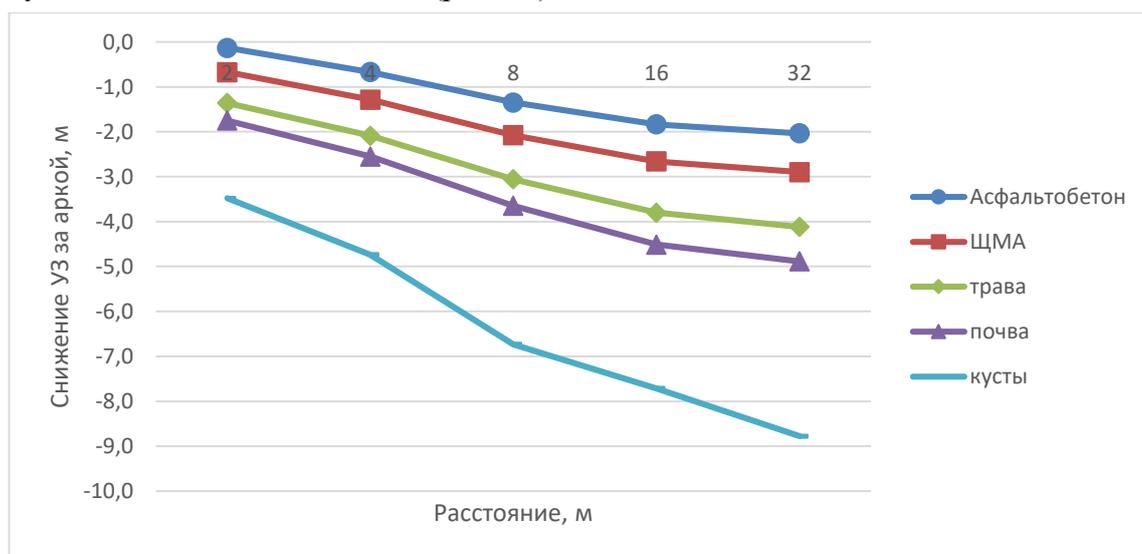


Рис. 12. Снижение уровней шума во дворе-колодце при разном покрытии территории
Влияние расстояния от источника шума до расчетной точки, рассчитанное на примере схем 1, 2, 3 и 10 для линейно расположенных зданий, схем 7, 8 и 9 для зданий, расположенных с

загибом, а также для проемов и арки на примере схем 4, 6 и 11 приводятся на рис. 13-15.

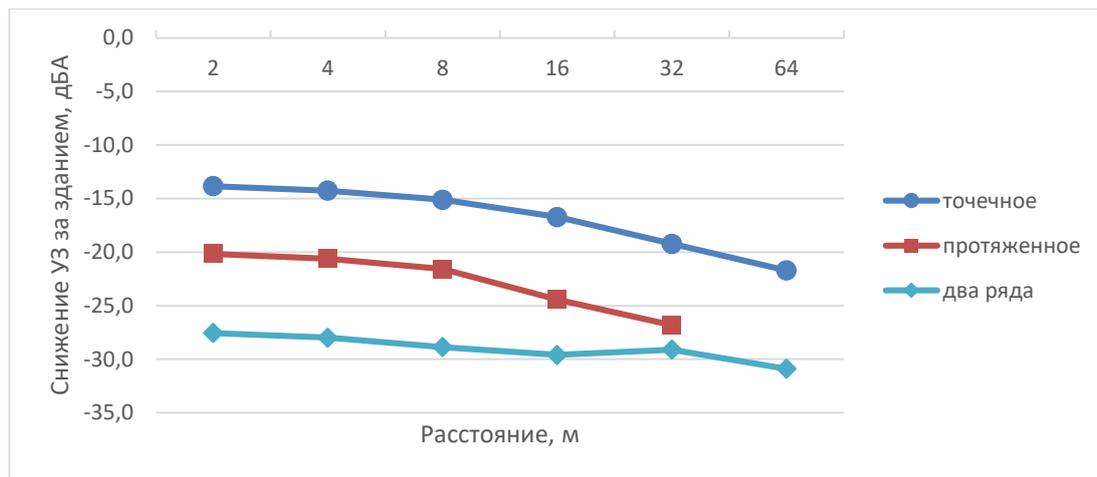


Рис. 13. Снижение уровней шума за линейными зданиями (точечным, протяженным и двумя рядами протяженных зданий)

Анализ результатов расчета показывает, что при наличии плоской и квазиплоской волны затухание незначительно (порядка 1 дБА), при переходе звуковой волны в цилиндрическую затухание составляет порядка 3 дБА на удвоение расстояния, в поле квазицилиндрической волны затухание составляет 4-5 дБА на удвоение расстояния, при переходе от квазицилиндрической волны к сферической затухание увеличивается до 6-7 дБА на удвоение расстояния. Затухание за протяженным зданием выше, чем за точечным на 5-6 дБА, за зданием второго эшелона снижение уровней шума на 5-8 дБА больше, чем за одним протяженным зданием. При наличии разреженной застройки снижение уровней шума за зданием на значительных расстояниях будет ниже, чем в случае плотной застройки. В этом случае вклад снижения уровней шума самим зданием невысоок, он снижается с увеличением длины разрыва между зданиями, при превышении его величины удвоенной длины здания снижение уровней шума самим зданием практически неизменно и не превышает 8 дБА.

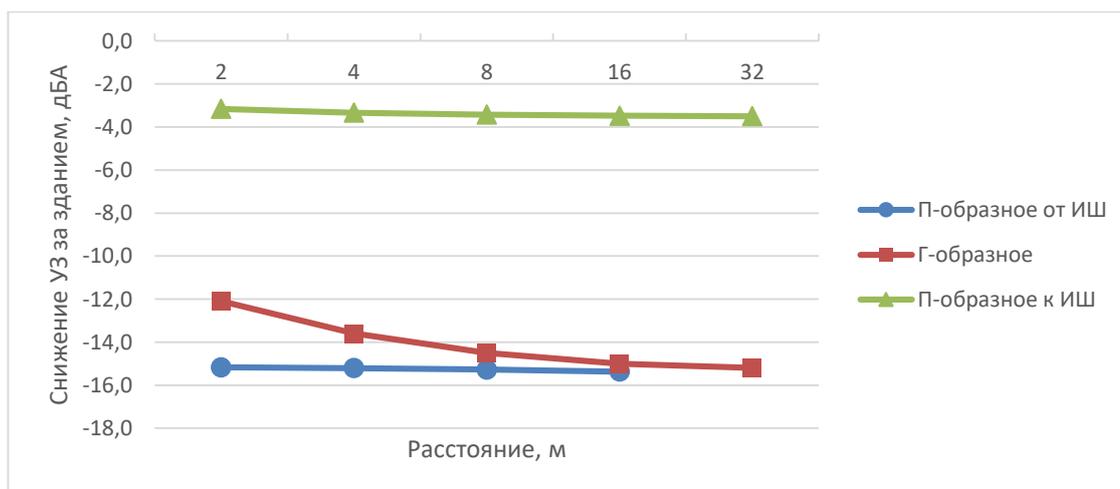


Рис. 14. Снижение уровней шума за зданиями (Г-образным и П-образным, повернутым к источнику шума (ИШ) и отвернутым от него)

Снижение уровней шума в П-образном или Ш-образном дворе практически постоянно на всей территории двора за счет квазидиффузного характера звукового поля, образованного в нем.

Затухание во дворе, развернутом в сторону источника шума (транспортного потока), невелико (до 3 дБА), в то время как во дворе, отвернутом от дороги, оно значительно выше (более 15 дБА) и зависит от параметров двора. Анализ затухания за Г-образным зданием показывает, что при удвоении расстояния происходит снижение уровней звука на 2 дБА, при этом учитывается совместный эффект экранирования зданием и затухания с увеличением расстояния. Затухание за Г-образным зданием меньше, чем за протяженным зданием, а также за П-образным зданием.

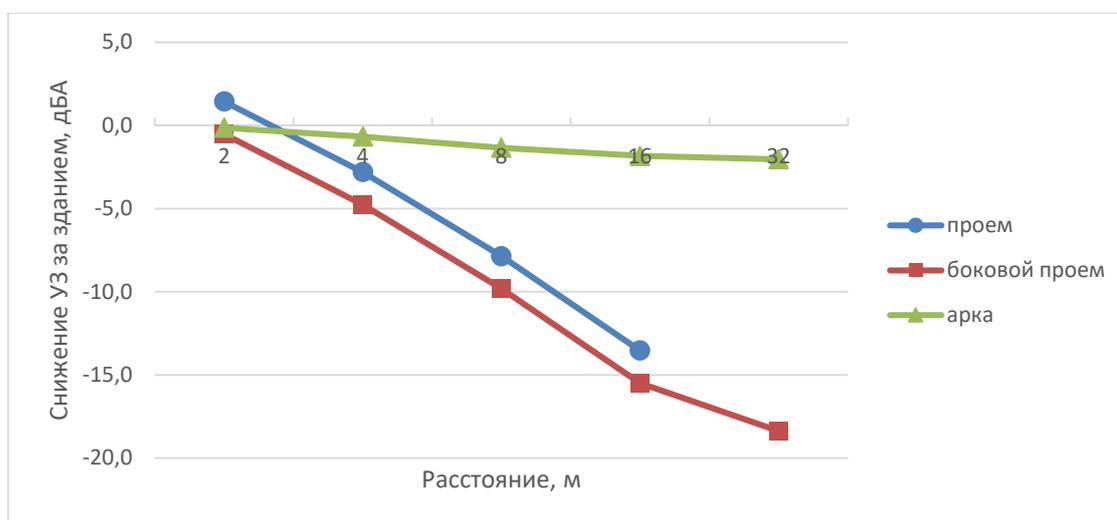


Рис. 15. Снижение уровней шума проемами (прямым и боковым) и аркой

Как показывает анализ представленных данных, влияние проема или арки распространяется на небольшие расстояния, определяемые размером тени, т.е. треть квадрата их длины. На малых расстояниях от проема или арки, меньших половины их длины, отсутствует снижение уровней шума, что обусловлено переотражением шума между образующими проем зданиями. С увеличением расстояния уровни шума за проемами снижаются на величину порядка 4,5 дБА при удвоении расстояния, что обусловлено дополнительным затуханием за зданиями. При увеличении размера бокового проема снижение уровней шума за ним уменьшается, начиная с длины в 20 м дополнительное снижение за проемом неизменно и составляет порядка 6 дБА.

Влияние ширины зданий на снижение уровней шума за ними было проанализировано на примере схем 1, 9 и 10 (рис. 16).

По результатам анализа можно сделать вывод, что при увеличении ширины здания до размеров высоты при каждом удвоении ее размера дополнительное снижение уровней шума составит 3 дБА, что обуславливается увеличением пути звуковой волны при дифракции звука за здание. Однако дальнейшее увеличение высоты свыше удвоенной длины не дает значительного вклада в снижение уровней шума, что обуславливается наличием вкладов уровней шума, дифрагирующего через боковые торцы здания.

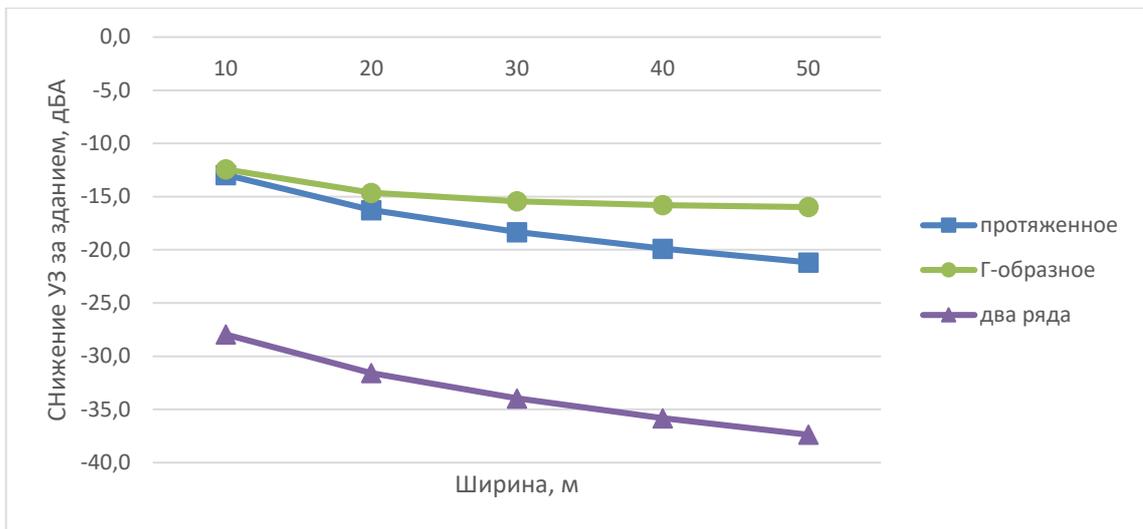


Рис. 16. Влияние ширины здания на снижение уровней шума за ним

Влияние высоты зданий на снижение уровней шума за ними проанализировано на примере схем 1 и 2. Анализ представленных расчетных данных показывает, что изменение высоты здания свыше 10 м не оказывает значительного влияния на уровни шума за зданием. Данный вывод подтверждает рекомендацию Директивы ЕС о шуме в окружающей среде о том, что при отсутствии информации о высотах здания допускается принимать их равными 8 м. Анализ расчетных данных показывает, что такой подход может повлечь отклонение от реального результата на величину не более 1 дБА. При помощи анализа схемы 2 был определен минимальный размер препятствия, который не оказывает значительного влияния на снижение шума за ним. Анализ расчетных данных показывает, что объекты высотой не менее 2 м, создают размер тени, сопоставимый с размерами самого объекта, т.е. точечные непротяженные сооружения высотой менее 2 м не оказывают значительного влияния на экранирование шума, поэтому их учитывать в расчете при построении карт шума нецелесообразно.

Влияние длины здания на снижение уровней шума за ним проанализировано на примере схем 1 и 8 (рис. 17).

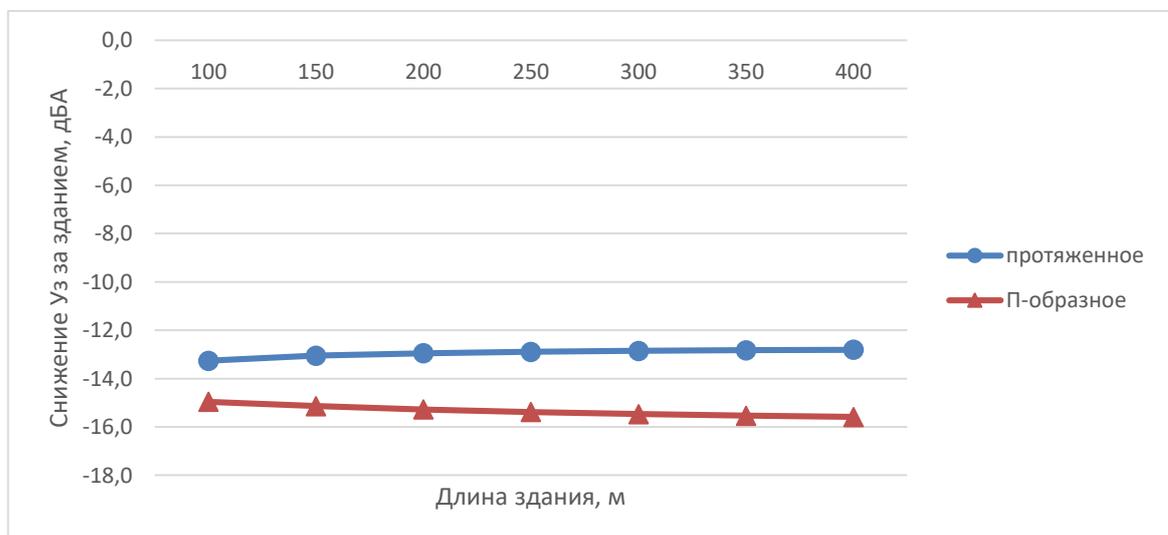


Рис. 17. Влияние длины здания на снижение уровней шума за ним

Анализ представленных данных показывает, что увеличение длины здания, экранирующего источник шума, свыше удвоенной его высоты практически не влияет на снижение уровней шума за ним. Это обусловлено тем, что минимальный путь звуковой волны в данном случае обеспечивается через верхнюю грань здания, на которой происходит дифракция звука. Затухание за П-образным зданием выше, чем за протяженным в результате наличия экранирования источников шума боковыми частями здания, перпендикулярными источнику шума.

Кроме того, было установлено, что увеличение длины перпендикулярных дороге П-образного здания в два раза влечет снижение уровней звука на 2,5 дБА, увеличение длины перпендикулярного Г-образного здания свыше удвоенной длины параллельного здания не дает дополнительного вклада в снижение уровней шума. При увеличении размеров двора-колодца вдвое уровни шума снижаются на 3 дБА.

Влияние длины проема и разрыва проанализировано путем проведения расчета по схемам 4, 5 и 6 (рис. 18). Как показывает анализ результатов расчета, снижение уровней шума за проемом или разрывом снижается по мере увеличения его длины. При увеличении длины проема или разрыва вдвое снижение уровней шума уменьшается на величину порядка 2,5 дБА, что обусловлено увеличением размера источника шума, влияющего на уровни звука в расчетной точке. При длине разрыва, равной его ширине (или длине фасадов зданий) дополнительное снижение отсутствует. Аналогично, при увеличении размера арки уровни звука во дворе-колодце начинают увеличиваться при длине арки, равной трети длины двора.

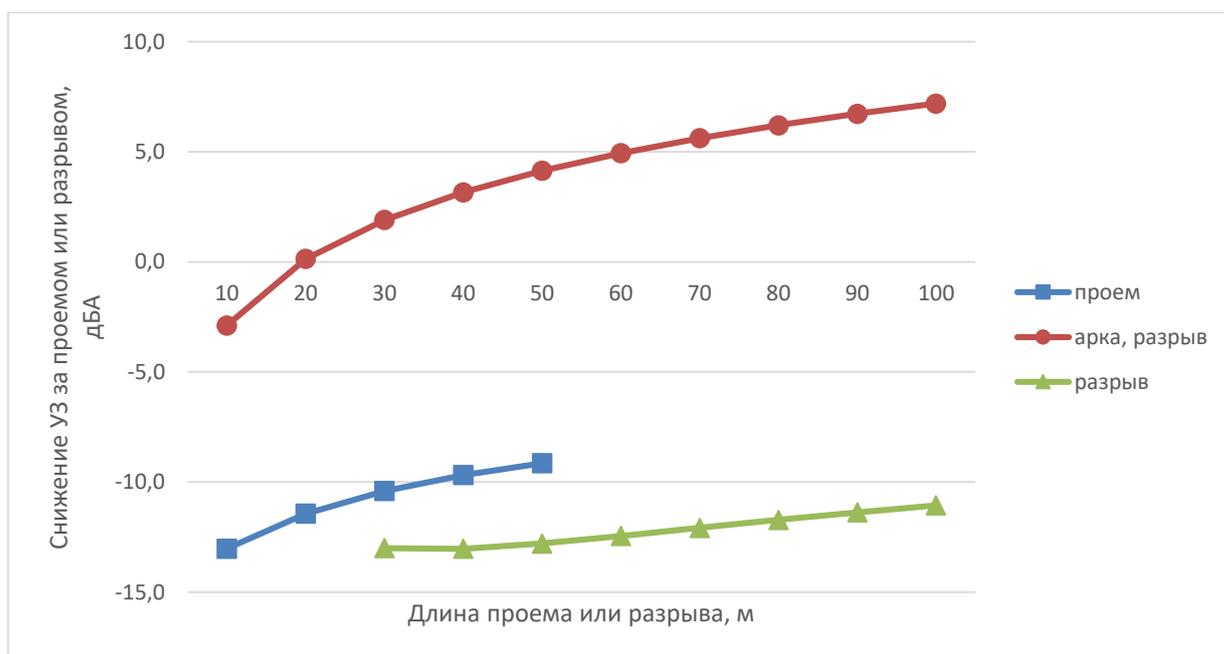


Рис. 18. Влияние длины проема или разрыва на снижение уровней шума

В третьей главе приведены методические основы проведения экспериментальных исследований шума потоков автомобильного, железнодорожного и воздушного транспорта, а также измерений уровней шума в жилой застройке.

Измерения шумовой характеристики потоков автомобильного и железнодорожного транспорта проводились по методике, основанной на ГОСТ 20444. Шумовые характеристики транспортных потоков (эквивалентные и максимальные уровни звука в дБА) измерены в дневной период суток три раза (утром, днем и вечером), в ночной период суток – два раза. В каждой точке выполнена серия из трех измерений.

Шумовая характеристика потока автотранспорта измерялась на расстоянии $(7,5 \pm 0,2)$ м от оси ближней к точке измерения полосы или пути движения транспортных средств на высоте $(1,5 \pm 0,1)$ м от уровня покрытия проезжей части. При проведении измерений фиксировалось количество автотранспортных средств и средняя скорость движения по каждой полосе дороги отдельно для легковых, грузовых средней тяжести, тяжелых грузовиков, мотоциклов, автобусов и троллейбусов. Дополнительно фиксировались такие параметры как температура, скорость ветра, тип шин, наличие перекрестков, расположение дороги (на земле, насыпи, эстакаде, двухъярусной развязке), уклон дороги, число полос движения, ширина разделительной полосы, тип движения (разгон, торможение, постоянная скорость), тип и возраст дорожного покрытия (асфальтобетон, щебеночно-мастичный асфальтобетон, крупные зерна; наличие повреждений дорожного покрытия). Продолжительность каждого измерения не менее 5 минут. Измерения шумовых характеристик производились на автодорогах общего пользования, магистральных городских дорогах, магистральных улицах общегородского движения.

Шумовая характеристика потоков железнодорожного транспорта измерялась на расстоянии $(25 \pm 0,5)$ м от оси ближнего к точке измерения магистрального железнодорожного пути и на высоте $(1,5 \pm 0,1)$ м над уровнем головки рельса. При проведении измерений фиксировалось количество поездов, скорость движения, время проезда мимо измерительной точки по каждому типу поездов. Дополнительно фиксировались температура, скорость ветра, тип шпал (железобетонные, деревянные), тип пути (бесстыковой, звеньевой), расположение дороги (на земле, насыпи, эстакаде, мосте), уклон, количество путей, состояние рельсов (гладкие, нормальное, плохое), тип верхнего основания пути (мягкое, среднее, жесткое), наличие стрелок, режим движения (торможение, постоянная скорость, замедление). Временной интервал наблюдения при каждом измерении охватывал проезд мимо точки измерения не менее 5 поездов каждого вида (пассажирские, грузовые, пригородные электропоезда, скоростные). Если шум формировался поездами только одного вида, то продолжительность временного интервала наблюдения выбиралась такой, чтобы за это время мимо точки измерения проследовало не менее 20 поездов. Измерения шумовых характеристик производились на скоростных магистралях, магистралях с преимущественно пассажирским движением и на особогрузонапряженных магистралях.

Измерения уровней шума авиационного транспорта проводились по стандартной методике, изложенной в ГОСТ 22283. Измерения шума выполнены на открытых площадках вне зоны звуковой тени или на расстоянии не менее 2 м от отражающих конструкций зданий при соответствующих ГОСТ 22283 метеорологических условиях. Центр микрофона располагался на высоте 1,2 м над уровнем земной поверхности. При определении значения эквивалентного уровня звука использован метод измерений максимальных уровней звука. Измерения произведены в дневное и

ночное время, при измерениях фиксировались марка воздушного судна и режим полета (взлет, посадка).

Измерения распространения шума в жилой застройке проводились по методике, основанной на ГОСТ 23337 и ГОСТ Р 51943. При измерениях использовался реальный источник шума – дороги. Измерения выполнены в дневное время в периоды максимальной интенсивности движения. При проведении измерений микрофон располагался на высоте $(1,5 \pm 0,1)$ м. Измерения произведены в точках, расположенных на расстоянии 2 м от ограждающих конструкций зданий. Микрофон был направлен в сторону источника шума. В каждой точке выполнялась серия из 3 измерений. Продолжительность каждого измерения была не менее 5 мин. При проведении измерений фиксировались условия проведения измерений: температура, скорость ветра, тип поверхности (грунт, асфальт, трава), параметры здания (высота, длина, ширина). Схемы для проведения измерений аналогичны расчетным схемам. Примеры схем для измерения шумовых характеристик транспорта и снижения шума в застройке представлены на рис. 19-20. Обработка результатов измерений выполнялась по стандартной методике., приведенной в ГОСТ 23337.

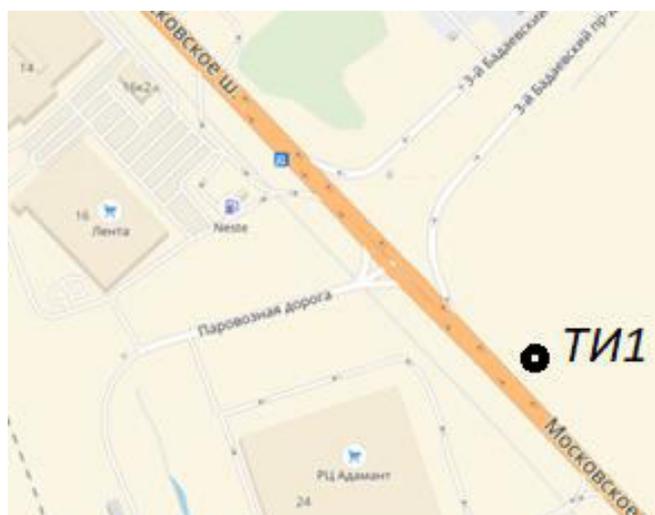


Рис. 19. Измерение шумовой характеристики автомобильной дороги: автодорога М10



Рис. 20. Точки измерений снижения шума в застройке для расчетных схем 1 и 10 по адресу Гражданский пр., 83 к. 1

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований шума автомобильного, железнодорожного и воздушного транспорта, а также измерений уровней шума в жилой застройке. На основании измерений и расчетов разработаны классификации автомобильных дорог, железнодорожных линий и аэропортов по уровням шума, определены требования к построению карт шума транспорта и обоснована корректность использования разработанных формул, предназначенных для расчета шума в жилой застройке.

Исследование шума автомобильного транспорта

Классификации по уровням шума автомобильных дорог общего пользования согласно ГОСТ Р 52398 и городских дорог различных категорий по СП 34.13330.2012 приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4. Классификация автодорог общего пользования по уровням шума

Параметры элементов автодороги	Категории						
	IA	IB	IV	II	III	IV	V
Средняя расчетная интенсивность движения, ед./сут.	100000	75000	14000	6000	4000	1100	200
Общее число полос движения, шт.	8	6	4	2	2	2	1
Ширина разделительной полосы, м	6	5	-	-	-	-	-
Расчетная скорость, км/ч	150	120	100	120	100	80	60
Скорость при 85% обеспеченности, км/ч (скорость, которую не превышает основная часть потока автомобилей)	128	102	85	102	85	68	51
Наибольшие продольные уклоны, %	3	4	5	4	5	6	7
Коэффициент загрузки (отношение интенсивности к максимальному числу автомобилей, которое может пропустить участок за единицу времени)	0,65	0,65	0,7	0,7	0,7	1	1
Интенсивность движения с учетом коэффициента загрузки, авт/час	5000	3700	750	350	250	100	20
Количество уровней при пересечении с другими автодорогами	2	2	1	1	1	1	1
L_{АЭКВ7,5}, дБА (день)	84	81	78	74	72	67	59

При наличии пересечений автодорог в разных уровнях шумовые характеристики, указанные в таблицах 4 и 5, увеличиваются на 3 дБА, что обусловлено отражением звука от нижней части верхнего яруса эстакады. При наличии уклонов в 3-5 % шумовая характеристика автодороги увеличивается на 2 дБА в зависимости от категории автодороги, что обусловлено тем, что при движении в гору увеличивается число оборотов двигателя автомобиля, а, следовательно, увеличиваются уровни шума, генерируемого им.

Таблица 5. Классификация городских автодорог по уровням шума

Категория	Расчетная скорость движения, км/ч	Скорость 85% обеспеченности, км/ч	Наибольший продольный уклон, %	Интенсивность движения (максимально для кол-ва полос), ед/сут	$\Delta L_{\text{скорость}}$, дБА	Интенсивность движения с учетом коэффициента загрузки, авт/час	$L_{A_{\text{экв}}7,5}$, дБА (день)	$\Delta L_{\text{уклон}}$, дБА
Магистральные городские дороги								
1-го класса - скоростного движения	130	111	4	120000	4	4100	84	2
	110	94	4,5		3	4100	83	2
	90	77	5,5		2,5	4100	81	2
2-го класса - регулируемого движения	90	77	5,5	80000	2,5	2700	82	2
	80	68	6		1	2700	80	3
	70	60	6,5		0	2700	79	3
Магистральные улицы общегородского значения								
1-го класса - непрерывного движения	90	77	5,5	120000	2,5	4100	83	2
	80	68	6		1	4100	82	3
	70	60	6,5		1	4100	82	3
2-го класса - регулируемого движения	80	68	6	120000	1	4100	82	3
	70	60	6,5		1	4100	82	3
	60	51	7		0	4100	81	3
3-го класса - регулируемого движения	70	60	6,5	80000	1	2700	80	3
	60	51	7		0	2700	79	3
	50	43	7		-2	2700	77	3
Магистральные улицы районного значения	70	60	6	40000	1	1300	77	3
	60	51	7	40000	0	1300	76	3
	50	43	7	20000	-2	650	72	3

Как показывает сравнение измеренных уровней шума с полученными по разработанной классификации, предлагаемая классификация автомобильных дорог позволяет получить шумовую характеристику с погрешностью не более $\pm 1-2$ дБА, что не превышает погрешности измерений. При этом данные шумовой характеристики не занижаются, позволяя учесть наиболее неблагоприятные условия. Таким образом, предлагаемая классификация автомобильных дорог по уровням шума может быть использована вместо расчетов или измерений, производимых в ходе построения карт шума.

При помощи сравнения усредненных шумовых характеристик автодорог с нормативными значениями и между собой определены требования к построению карт шума:

1. Согласно санитарным нормам разница между нормативными величинами эквивалентного и максимального уровней звука составляет 15 дБА, а разница между измеренными эквивалентным и максимальным уровнем звука потоков автотранспорта лежит в диапазоне от 4 до 11 дБА, т.е. разработка карт шума автотранспорта для максимальных уровней звука нецелесообразна.
2. Усредненные шумовые характеристики потоков автотранспорта в дневное время

выше ночных на 6-8 дБА. В час «пик» шумовые характеристики на 1-3 дБА выше, чем усредненные шумовые характеристики. Если пользоваться критериями для разработки карт шума, установленными в ЕС, разница между дневными и ночными нормативами составит 5 дБА. Следовательно, оценку акустической ситуации, создаваемой автодорогами, следует производить для дневного времени.

3. Распределение шумовой характеристики за неделю показывает, что в пятницу уровни шума возрастают на величину порядка 0,4 дБА по сравнению с другими будними днями, в субботу – снижаются на 0,2-0,3 дБА, а в воскресенье уровни шума снижаются на 1,5-1,8 дБА. Поскольку в самый напряженный день недели уровни шума вырастают незначительно (на 0,4 дБА), в расчет при построении карт шума допускается включать среднесуточную интенсивность движения автотранспорта в будние дни.

4. Распределение шумовой характеристики за год показывает, что средние уровни оказываются превышены в мае, а также в зимние и осенние месяцы (рис. 19). Резкий рост уровней шума в мае на 2-5 дБА обуславливается, в основном, ростом интенсивности и скорости движения. В зимние месяцы наблюдается значительное влияние вклада шипованных шин и одновременное снижение интенсивности движения. В осенние месяцы мокрая пленка воды на дороге увеличивает шумовую характеристику автодорог на 2-3 дБА. При расчетной оценке шумовой характеристики автодороги следует производить прогноз интенсивности движения в мае.

5. При расчете, производимом в ходе построения карт шума, необходимо разбивать линейный источник шума на точечные исходя из угла обзора (из расчетной точки) в 5 градусов, а далее производить расчет распространения шума в открытом пространстве по ISO 9631-2.

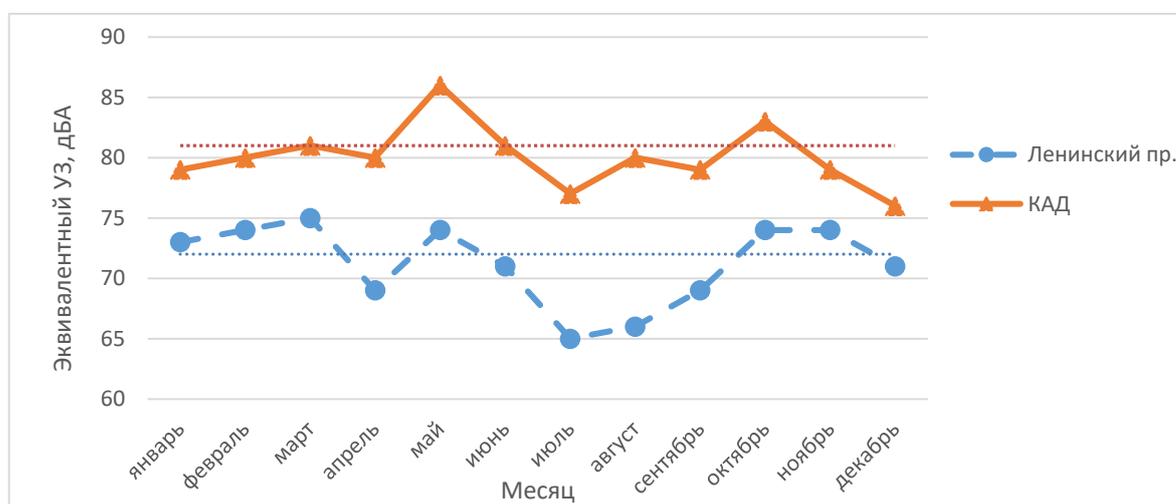


Рис. 19. Распределение эквивалентных уровней звука автодорог в течение года

Исследование шума железнодорожного транспорта

Классификация железных дорог по уровням шума приведена в таблице 6, категории железных дорог и их параметры приняты по СП 119.13330.2017. Кроме того, были проанализированы параметры, влияющие на шумовую характеристику, указанную в таблице 6:

- при наличии бесстыкового пути $L_{Aэкв25}$, дБА следует снизить на 2 дБА, что объясняется отсутствием соударения колеса и стыка рельсов;

- при наличии деревянных шпал $L_{A_{ЭКВ25}}$, дБА следует снизить на 2 дБА, что обусловлено отсутствием переотражений шума между нижней частью корпуса поезда и шпалами;
- при наличии кривых участков радиусом менее 300 м шумовую характеристику следует увеличить на 8 дБА, а при наличии кривых участков пути с радиусом от 300 до 650 м – на 3 дБА;
- при прохождении поезда по мосту шумовая характеристика увеличивается на 3-15 дБА в зависимости от типа моста в результате наличия многократных переотражений звука между корпусом поезда и конструкциями моста, а также наличием структурного шума.

Таблица 6. Классификация железных дорог по уровням шума

Категория железнодорожной линии	Объем перевозок грузов, млн.т	Пассажирское движение	Максимальная скорость, км/ч		Интенсивность (дневной час-пик), пар/час		$L_{A_{ЭКВ25}}$, дБА (день)
			пассажирских	грузовых	пассажирских, пригородных	грузовых	
Скоростная	Не регламентируется	Свыше 60 %	200	90	7	4	80
Пассажирская	Не регламентируется	Более 50 пар, не менее 80 %	160	90	8	2	78
Особогрузонапряженная	Свыше 80	Не регламентируется	140	90	1	4	77 97 ($L_{A_{Макс7,5}}$)
I	Свыше 40 до 80	Свыше 20 %	160	90	1	2	73
II	Свыше 20 до 40	10-20 %	160	90	0,5	1	70
III	Свыше 8 до 20	10 - 15 %	140	80	0,5	0,5	67
IV	До 8	4-10 %	140	80	0,25	0,25	64
V	Не регламентируется	До 4 %	80	60	0,1	0,2	60

Как показывает сравнение измеренных уровней шума железнодорожных линий с полученными по разработанной классификации, предлагаемая классификация железных дорог позволяет получить шумовую характеристику с погрешностью не более $\pm 1-2$ дБА, что не превышает погрешности измерений. Таким образом, предлагаемая классификация железных дорог по уровням шума может использоваться вместо расчетов или измерений, производимых в ходе построения карт шума.

Сравнением усредненных шумовых характеристик железных дорог с нормативными значениями и между собой определены требования к построению карт шума:

1. Эквивалентный уровень звука потока поездов ниже максимального на 9-21 дБА (для пригородных, пассажирских и скоростных поездов – на 9-15 дБА, для грузовых поездов – на 20-21 дБА). Согласно санитарным нормам разница между нормативными величинами эквивалентного и максимального уровней звука составляет 15 дБА, следовательно, при построении карт шума потоков поездов при наличии в потоке грузовых поездов необходимо строить карты шума как для эквивалентных, так и для максимальных уровней звука, в остальных случаях – только для

эквивалентных уровней звука.

2. В дневное время эквивалентные уровни звука на 3-12 дБА больше, чем в ночное, а осредненные эквивалентные уровни звука в дневное время на 8 дБА больше, чем в ночное (рис. 20), максимальные уровни звука не зависят от времени суток. С учетом разницы между дневным и ночным критерием допустимого уровня звука, оценку акустической ситуации, создаваемой железными дорогами, следует производить для дневного времени суток.

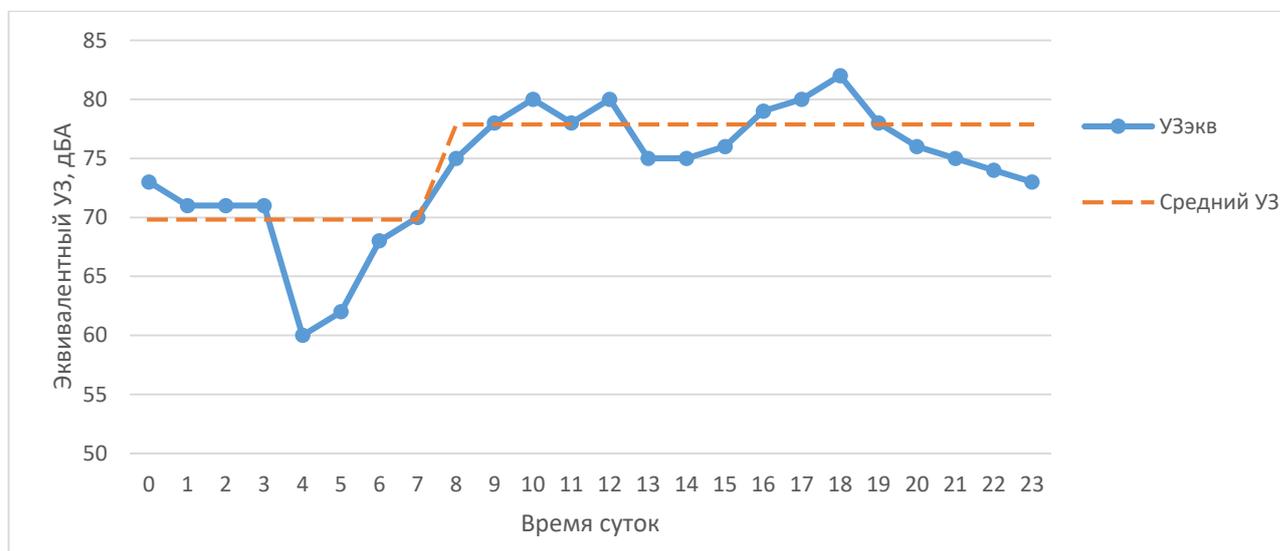


Рис. 20. Распределение эквивалентных уровней звука в течение суток

3. В течение года наибольшие уровни шума наблюдаются в летний период, когда вводятся дополнительные электропоезда, в зимнее время шумовая характеристика снижается из-за наличия снежного покрова, который способствует поглощению звука. Поэтому при построении карт шума железнодорожных потоков следует проводить прогноз на летнее время.

Исследование шума воздушного транспорта

Классификация аэропортов по уровням шума приведена в таблице 7, оценку уровней шума аэропортов предлагается производить по эквивалентным уровням звука.

При оценке уровней шума аэропортов по эквивалентным уровням звука размер зоны обеспечения ПДУ в 2 раза меньше, чем при оценке максимальных уровней звука. Анализ результатов измерений на примере аэропорта «Пулково» показывает, что при использовании предложенной классификации аэропортов, основанной на эквивалентных уровнях звука, оценка зоны санитарного разрыва аэропорта более точная, чем при использовании ранее принятого подхода, основанного на максимальных уровнях звука.

При помощи сравнения шумовых характеристик воздушного транспорта с нормативными значениями и между собой определены требования к построению карт шума:

1. В ночное время эквивалентные уровни звука ниже, чем в дневное, на величину 2-12 дБА. Максимальные уровни шума в дневное и ночное время одинаковые. Максимальные уровни шума превышают эквивалентные на величину от 15 до 30 дБА. Исходя из того, что нормативные максимальные уровни превышают эквивалентные на величину 15 дБА, а в ночное время ПДУ на 5

дБА ниже, чем в дневное, при разработке карт шума авиатранспорта необходимо разрабатывать карты как для дневного, так и для ночного времени отдельно по эквивалентным и максимальным уровням звука.

2. В течение года наблюдается неравномерное распределение интенсивности взлетно-посадочных операций, поэтому построение карт шума необходимо производить на наиболее загруженный месяц.

Таблица 7. Классификация аэропортов по уровням шума

Класс	Тип	Средняя расчетная интенсивность, взл-пос/ч	Параметры ВПП (длина x ширина), м	Поправка на длину полосы, дБА	L _{Аэкв300} , дБА		Расстояние обеспечения ПДУ, км	
					посадка	взлет	посадка	взлет
внеклассные	-	22	3500-4000	0,0	70,6	74,8	19	30
I	A	19	3200 x 60	-0,6	65,9	70,1	11	18
II	B	17	2600 x 45	-0,7	61,8	66,0	7	11
III	B	16	1800 x 42	-1,0	57,7	61,9	4,2	7
	Г	14	1300 x 35	-1,4	56,8	61,0	3,8	6
IV	Д	10	1000 x 28	-1,9	51,3	55,5	2	3,3
V	-	5	-	-2,5	44,2	48,4	0,9	1,4
неклассифицированные	E	4	500 x 21	-3,5	38,7	42,9	0,5	0,75

Исследование распространения шума в жилой застройке

Для проверки корректности разработанных математических моделей и расчетных формул, были проведены измерения уровней шума в жилой застройке. Сравнение результатов расчета снижения уровней шума в результате дифракции по предложенным схемам и измерений представлено на рис. 21.

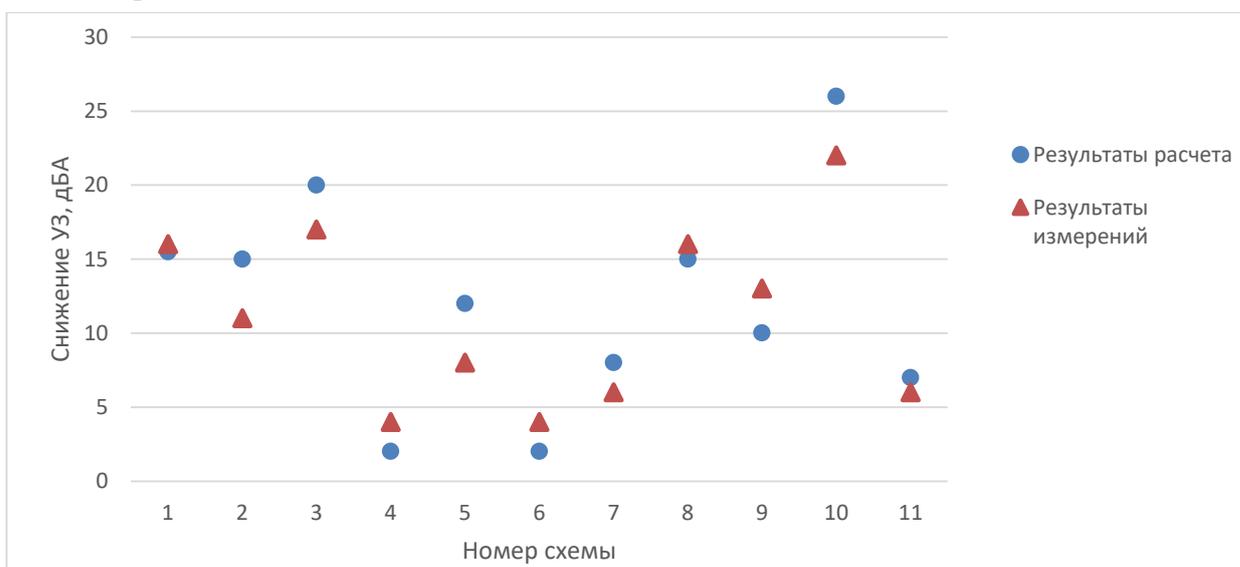


Рис. 21. Сравнение результатов расчета снижения уровней шума в застройке и измерений

Анализ результатов расчетов и измерений, показывает, что отклонение результатов расчета по предложенным расчетным формулам от результатов измерений достигает 4 дБА, что с учетом погрешности измерений до 1,5 дБА дает хорошую сходимость.

Результаты измерений также были сравнены с результатами расчетов по различным расчетным методикам, таким как международная методика ISO, скандинавский метод расчета Nord2000, немецкая методика RLS и российская методика, отраженная в СП 276, а также с результатами расчета, полученными при помощи инженерного метода, представленного в диссертации.

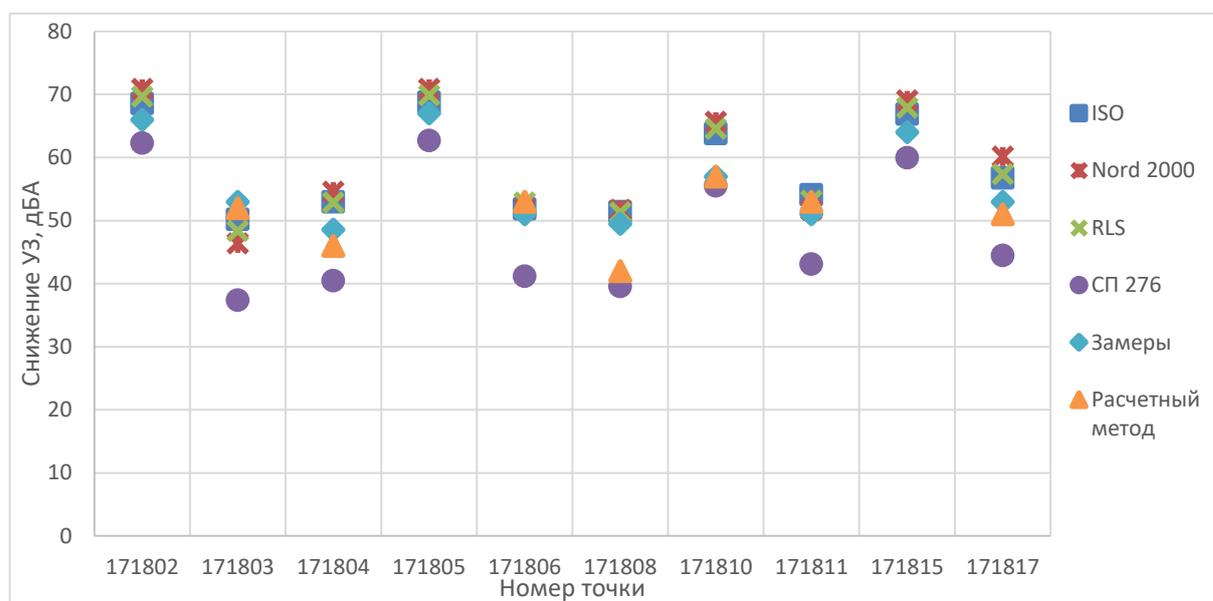


Рис. 22. Сравнение результатов расчетов по различным методикам и измерений

В результате анализа представленных на рис. 22 данных можно сделать вывод, что:

- западные методики дают несколько завышенные значения при расчете распространения шума в свободном пространстве; российская методика расчета, представленная в СП 276, несколько занижает значения, что обусловлено, в том числе, способом разбиения линейного источника на точечные источники;
- расчет дифракции по российской методике дает заниженные уровни шума за препятствиями, наиболее точно оценку дифракции можно проводить при помощи метода Nord 2000 и при помощи предлагаемого в диссертации метода расчета. Преимуществом предлагаемого в данной работе метода расчета по сравнению с методом Nord2000 является то, что он прост в использовании, может применяться как для ручного расчета, так и для программных средств, не требует больших временных затрат.

В пятой главе приведены рекомендации по разработке карт шума и планов мероприятий по снижению шума, апробация предложенных решений и методов расчета.

Основные рекомендации по разработке карт шума, базирующиеся на новом подходе, описанном в данной диссертации, включают:

- оценку шумовых характеристик при помощи классификации источников по уровням шума, основанной на технических характеристиках источников, определенных в зависимости от

категории автомобильной дороги или железнодорожной линии, а также класса аэропорта, и приведенной в таблицах 4-7;

- оценку дифракции в жилой застройке при помощи разработанных математических моделей и расчетных формул для различных вариантов расположения застройки, приведенных в таблице 2;

- выбор оцениваемых параметров в соответствии с разработанными и научно обоснованными требованиями к составлению карт шума. Так, оперативные карты шума транспортных источников в обязательном порядке разрабатывают по значениям эквивалентных уровней звука в дневное время, и по максимальным уровням звука для железнодорожного транспорта, при наличии в потоке значительной доли грузовых поездов, а также авиатранспорта;

- оценку глубины построения карт шума вглубь территории, полученной в ходе настоящего исследования. Глубина построения карт шума составляет от 20 до 1300 м для автодорог общего пользования, от 230 до 1200 м для улично-дорожной сети, от 70 до 1100 м для железных дорог и от 750 м до 30 км для аэропортов;

- оценку погрешности при построении карт шума на основании данных о влиянии на точность карты таких параметров, как параметры транспортного потока (обеспечиваемая точность до ± 1 дБА), расстояние до расчетной точки (от ± 1 до ± 3 дБА), высота источника шума (до ± 3 дБА) и расчетной точки (от ± 1 до ± 3 дБА) и шаг расчета (от $\pm 0,5$ до ± 3 дБА).

Общие требования к процессу разработки карты шума включают в себя:

- требования к объектам, для которых необходимо строить карты шума, определенные исходя из классификации источников шума, описанной в диссертации. Так, карты шума необходимо строить для автомобильных дорог общего пользования I и II категории, а также городских дорог 1 и 2 класса, всех скоростных, пассажирских, особогрузонапряженных и железнодорожных линий I категории, внеклассных аэропортов и аэропортов I-IV класса;

- области применения карт шума, определенные исходя из практики проектирования различных объектов, включающие оценку существующих уровней шума на рассматриваемой территории, моделирование изменения акустического воздействия на территорию при изменении параметров источников шума, оценку зон санитарных разрывов источников шума и внесение их границ в Единый государственный реестр недвижимости, наложение запрета на строительство и реконструкцию объектов и др.;

- требования к исходным данным, необходимым для построения карт шума и разработке цифровой модели местности, определенные в ходе разработки карт шума при апробации предложенного в данной работе подхода. Основные данные, необходимые для построения карт шума, включают данные о параметрах и траектории источников шума, отметки и контуры высот, функциональное назначение и высоты зданий, области затухания;

- требования к информации, которую необходимо представлять на картах шума, определенные в ходе разработки карт шума при апробации предложенного в данной работе подхода. Информация, представляемая на оперативных картах шума, включает изолинии равных уровней звука с шагом в 5 дБА, превышения допустимых уровней шума, прогноз изменения состояния окружающей среды по фактору шума, поэтажное распределение уровней шума вдоль фасадов

домов, количество населения и площадь территорий, подверженных различным уровням шума, количество нормируемых по шуму объектов, расположенных на территориях с повышенными уровнями шума;

- требования к процессу построения карты шума, определенные в ходе разработки карт шума при апробации предложенного в данной работе подхода, включающие шаг расчета, нормативные уровни, которые необходимо отобразить на карте, высоты источников шума, принимаемые в расчет, требования к оценке шума у фасадов зданий;
- процедуру учета фоновых источников шума путем измерений и расчетов по стандартным методикам;
- калибровку карт шума, которая производится по действующим стандартам в области измерений шума;
- требования к обновлению карт шума, определенные исходя из практики картирования шума в ЕС включают в себя обновление карт шума каждые 5 лет либо при любом значимом изменении акустической обстановки;
- рекомендации по импортированию данных из карт шума в информационные системы, определенные при разработке информационных моделей сооружения (ВІМ), таких как автомобильные и железные дороги;
- оценку степени зашумленности территорий по стандартной методике.

Полученные в ходе разработки данной работы данные являются основой расчета распространения шума на территории, который будучи внедрен в расчетную программу, позволяет разрабатывать карты шума с меньшими трудозатратами и с большей точностью, чем существующие нормативные документы.

Разработаны рекомендации по выбору мероприятий шумозащиты, исходя из классификации источников шума, которые включают требуемое снижение уровней звука, размер зоны санитарного разрыва, рекомендуемые мероприятия в зависимости от категории автомобильной дороги, железной дороги или класса аэропорта. Рекомендации по выбору мероприятий шумозащиты для тех объектов, для которых в обязательном порядке строятся карты шума, приведены в таблицах 8-10.

По результатам анализа измерений и расчетов уровней шума, выполненных для различных типов застройки, приведенных в таблице 2, были определены следующие мероприятия:

- необходимо использовать шумозащитные типы застройки (П-, Ш-образные здания, отвернутые от источника шума), что обеспечивает снижение УЗ на величину до 16-18 дБА;
- здания располагать непараллельно, а под углом к источнику шума, что снижает эффект переотражений и способствует снижению уровней шума на величину до 10 дБА;
- избегать наличия проемов в виде арки в зданиях, расположенных параллельно источнику шума, образующих замкнутые и полузамкнутые двory, т.к. это практически нивелирует экранирующий эффект зданий;
- для проезда на территорию дворов рекомендуется использовать боковые проемы, т.е. в объезд первого фронта застройки;

- закрытые дворы рекомендуется максимально озеленять, что обеспечивает снижение УЗ на величину до 2-6 дБА;
- фасады зданий рекомендуется выполнять из звукопоглощающих материалов либо с наличием значительного количества выступающих элементов (эркеров, балконов), что способствует снижению УЗ за зданием на величину до 4-10 дБА;
- застройка должна быть максимально плотной с минимальными разрывами между зданиями;
- не располагать П-образные здания, развернутыми в сторону транспортного потока;
- увеличение высоты и длины зданий дает меньший эффект снижения шума, чем увеличение ширины здания;
- увеличение высоты здания свыше 10 м не дает значительного вклада в снижение уровней шума за зданием;
- за точечными низкими зданиями (сельская застройка) снижение шума практически отсутствует, поэтому их нельзя рассматривать как экранирующие объекты, снижающие размер зоны санитарного разрыва и экранирующие дальние эшелоны застройки;
- снижение уровней шума элементами городской застройки ограничено и в большинстве случаев не превышает 25 дБА, следовательно, мероприятия по снижению шума элементами застройки следует комбинировать с мероприятиями по снижению шума в источнике и на пути его распространения.

Таблица 8. Шумозащитные мероприятия для автомобильных дорог

№	Категория автомобильной дороги	L _{A-экв} 7,5, дБА	Требуемое снижение уровней шума, дБА	Размер зоны санитарного разрыва, м	Рекомендуемые мероприятия
<i>Автомобильные дороги общего пользования</i>					
1	IA	84	29	1300	Установка шумозащитных экранов или валов высотой не менее 6 м; применение шумозащитного остекления; использование шумопоглощающего асфальта
2	IB	81	26	1100	Установка шумозащитных экранов высотой не менее 5 м; применение шумозащитного остекления; использование шумопоглощающего асфальта
3	IV	78	23	500	Установка шумозащитных экранов высотой не менее 4 м; применение шумозащитного остекления
4	II	74	19	320	Установка шумозащитных экранов высотой не менее 3 м либо прокладка дороги в выемке; применение шумозащитного остекления
<i>Магистральные городские дороги</i>					
5	1-го класса	84	29	1300	Установка шумозащитных экранов высотой не менее 6 м или экранирование ненормируемыми объектами; соблюдение размера санитарного разрыва; применение шумозащитного остекления; использование шумопоглощающего асфальта
6	2-го класса	82	27	1150	См. п. 2

Таблица 9. Шумозащитные мероприятия для железных дорог

Категория железнодорожной линии	$L_{A_{экв25}}$, дБА	Требуемое снижение уровней шума, дБА	Размер зоны санитарного разрыва, м	Рекомендуемые мероприятия
Скоростная	80	25	950	Установка шумозащитных экранов высотой не менее 5 м; совершенствование подвижного состава; улучшение качества пути; применение шумозащитного остекления
Пассажирская	78	23	850	Установка шумозащитных экранов высотой не менее 4 м; совершенствование подвижного состава; улучшение качества пути; применение шумозащитного остекления
Особогрузонапряженная	77 97 ($L_{A-макс7,5}$)	22 27 (максимальные)	750 1100 (максимальные)	Установка шумозащитных экранов высотой не менее 6 м; совершенствование подвижного состава; улучшение качества пути; применение шумозащитного остекления
I	73	18	500	Установка шумозащитных экранов высотой не менее 4 м; совершенствование подвижного состава

Таблица 10. Шумозащитные мероприятия для аэропортов

Класс	$L_{A-экв25}$, дБА	$L_{A-макс25}$, дБА	Требуемое снижение уровней шума, дБА		Размер зоны санитарного разрыва, км	Рекомендуемые мероприятия
			экв	макс		
внеклассные	75	106	20	36	30	Удаление траекторий пролета; замена устаревших самолетов новыми; шумозащитное остекление; ограничение операций в ночное время
I	70	101	15	31	18	Удаление траекторий пролета; замена устаревших самолетов новыми; шумозащитное остекление
II	66	96	11	26	11	Удаление траекторий пролета; замена устаревших самолетов новыми; ограничение операций в ночное время
III	62	91	7	21	7	Замена устаревших самолетов новыми; шумозащитное остекление
IV	56	86	1	16	3,3	Замена устаревших самолетов новыми

Апробация методов построения карт шума выполнена в ходе разработки карт шума участков автомобильных дорог (таких как М-1, М-8, обход г. Сергиев Посад и др.), железных дорог (ВСМ Санкт-Петербург-Москва, Октябрьская железная дорога, железной дороги на участке Санкт-Петербург – Бусловская, Приволжская железная дорога и др.), аэропорта Пулково. На основании карт шума были разработаны шумозащитные мероприятия, позволившие обеспечить соблюдение предельно допустимых уровней шума на территории жилой застройки (рис. 23).

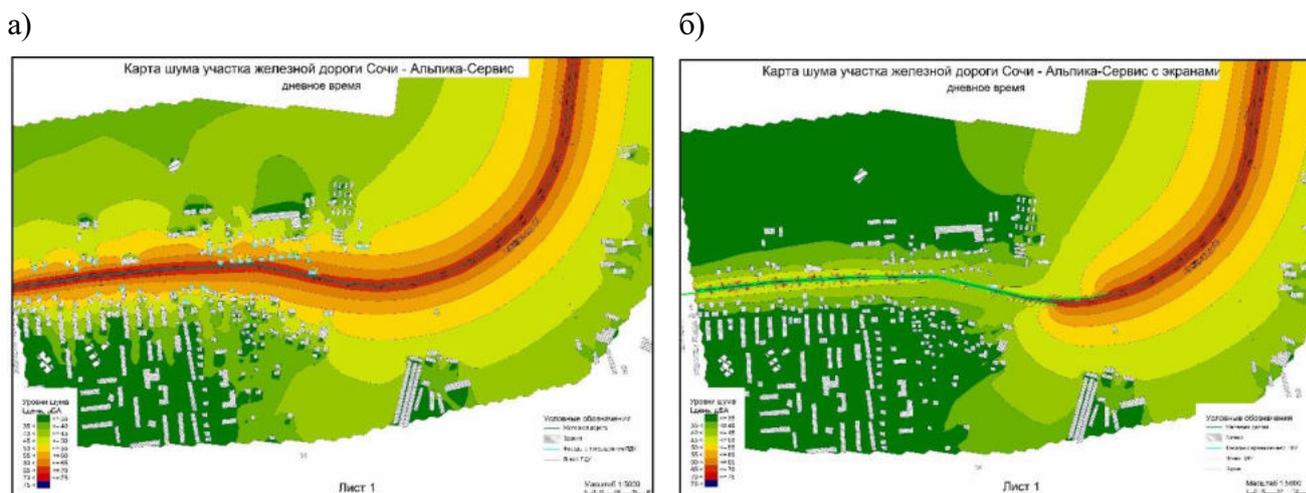


Рис. 23. Карта шума участка железной дороги Сочи - Альпика Сервис: а) без шумозащитных мероприятий; б) с шумозащитными мероприятиями

Результаты данной работы были положены в основу адаптации международной программы SoundPLAN, мирового лидера по расчету уровней шума, к требованиям российского законодательства. По результатам адаптации был получен сертификат соответствия программного средства российскому законодательству.

Одним из наиболее значимых результатов внедрения предлагаемого подхода является разработка карты шума г. Санкт-Петербурга (2006 и 2013 г.г.), при построении которой были рассчитаны карты шума автодорог, железных дорог и аэропорта, расположенных на территории города, кроме того, были учтены и другие источники шума, такие как промышленные предприятия и водный транспорт. Карта шума была разработана при использовании адаптированного автором программного обеспечения SoundPLAN. Именно при разработке карты шума впервые возникла идея замены трудоемких расчетов и измерений шумовых характеристик источников шума их классификацией.

После построения карты была произведена ее калибровка при помощи замеров уровней шума на территории городской застройки. Выборочное сравнение расчетных характеристик с показателями натурных замеров шума на ряде магистралей дали хорошую сходимость результатов расчетов с фактическими измерениями (среднеквадратичное отклонение не более 1,5-2 дБА). Следовательно, подход к картированию шума и расчетные методики, использованные при разработке карты шума Санкт-Петербурга, с достаточной достоверностью отражают акустическую ситуацию и могут использоваться при составлении карт шума и расчетах ожидаемой шумности в других городах страны. Фрагмент карты шума г. Санкт-Петербурга с учетом всех источников приведен на рис. 24.

Разработанная нормативно-техническая документация. Основные результаты настоящей диссертационной работы были положены в основу следующих нормативных документов:

- ГОСТ Р 54933-2012 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом»;

- Изменение №1 к ГОСТ 33325 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом»;
- ГОСТ Р 56394-2015 «Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта. Общие требования и методы построения»;
- Положение о разработке, утверждении и применении карт шума территорий, прилегающих к объектам инфраструктуры железнодорожного транспорта (Утверждено Распоряжением ОАО «РЖД» от 11.01.2017 № 43р);
- СП 276.1325800.2016 «Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков»;
- СТО АВТОДОР 2.9-2014 «Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации акустических экранов на автомобильных дорогах государственной компании «АВТОДОР», а также актуализированная редакция СТО АВТОДОР 2.9-2019.



Рис. 24. Фрагмент карты шума г. Санкт-Петербурга

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для решения проблемы построения карт шума в РФ в диссертации предложен новый подход к составлению карты шума, который основывается на замене расчетов и измерений шумовых характеристик источников шума данными, полученными по результатам разработанной классификации источников по уровням шума в зависимости от категории автомобильной дороги или железнодорожной линии, а также класса аэропорта.

2. Классификация автомобильных дорог по уровням шума основывается на расчетных дан-

ных, а также на данных результатов измерений шумовых характеристик автомобильных дорог с учетом их категорий и основных параметров. Разработанная классификация автомобильных дорог позволяет получить шумовую характеристику с погрешностью $\pm 1-2$ дБА.

3. Классификация железных дорог по уровням шума основана на расчетных данных, а также данных измерений шумовых характеристик железных дорог с учетом их категорий и основных параметров. Предлагаемая классификация железных дорог позволяет получить шумовую характеристику с погрешностью $\pm 1-2$ дБА.

4. Классификация аэропортов по уровням шума базируется на расчетных данных, полученных для аэропортов различных категорий с учетом их класса и основных параметров. В ходе экспериментальных исследований на примере аэропорта Пулково было установлено, что проведение классификации по эквивалентным уровням звука позволяет оценить зоны влияния аэропорта более точно, чем по максимальным уровням звука.

5. Для оценки дифракции в жилой застройке были рассмотрены все возможные варианты расположения зданий относительно источников шума, для них разработаны математические модели и расчетные формулы, позволяющие оценить распространение шума за здание, а также его снижение за зданиями наиболее распространенных форм.

6. Разработанная теория базируется на положениях волновой, геометрической и статистической теорий акустики. Звуковое поле в точке на территории застройки формируется вкладом вторичных источников шума, в качестве которых выступают здания. Звуковая волна от вторичного источника рассматривается как плоская, квазиплоская, цилиндрическая, квазцилиндрическая или сферическая. При распространении шума за здание учитываются явления отражения, поглощения, дифракции и геометрической дивергенции звука. Отражение от элементов здания учтено при помощи метода мнимых источников. При оценке дифракции учитывается путь звукового луча, огибающего препятствие.

7. Допущения, принятые при разработке теории, включают следующее: источник шума принимается ненаправленным линейным источником, рассматриваемые источники шума некогерентны, все рассматриваемые процессы линейны. Здания, расположенные между источником шума и расчетной точкой, рассматриваются как преграды, максимальное снижение уровня звука за преградой достигается на середине длины преграды или проема. Расчеты производятся для эквивалентного уровня звука. Коэффициент дифракции $\beta_{\text{диф}}$ принимается равным $1/\pi$.

8. На основании предложенной в диссертации теории был разработан научно-обоснованный инженерный метод оценки, включающий расчетные формулы для таких случаев распространения звука в застройке, как дифракция звука за протяженное и точечное здания в условиях плотной и разреженной застройки, распространение шума за прямым и боковым проемами и разрывом между зданиями, распространение шума во дворе-колодце через арку, распространение шума во дворе, развернутом в сторону источника шума и отвернутом от него, затухание шума за Г-образным зданием, дифракция за вторым рядом зданий.

9. Теоретический анализ разработанных формул позволил выявить влияние различных параметров на закономерности распространения шума в жилой застройке:

геометрические размеры зданий:

- удвоение ширины линейного здания, параллельного источнику шума, дает снижение уровней шума на 3-5 дБА, увеличение ширины здания более размера его высоты не оказывает значительного влияния на снижение уровней шума;
- увеличение длины здания свыше удвоенной его ширины или высоты практически не влияет на снижение уровней шума за ним;
- изменение высоты здания свыше 10 м не оказывает значительного влияния на уровни шума за зданием, сооружения высотой менее 2 м не оказывают значительного влияния на экранирование шума;
- увеличение длины частей зданий, перпендикулярных дороге, в два раза влечет снижение уровней звука на 2,5 дБА, увеличение длины частей здания, перпендикулярных дороге, свыше удвоенной длины частей здания, параллельных ей, не дает дополнительного вклада в снижение уровней шума за Г-образным зданием;

- при увеличении размеров двора-колодца вдвое уровни шума снижаются на 3 дБА;

геометрические параметры арок, проемов и разрывов:

- при превышении длины разрыва между зданиями более удвоенной длины здания снижение уровней шума самим зданием практически неизменно и не превышает 8 дБА;
- на расстояниях, меньших половины длины проема, отсутствует снижение уровней шума, при увеличении длины проема вдвое снижение уровней шума уменьшается на величину порядка 2,5 дБА, при длине проема, равной длине фасада здания, дополнительное снижение отсутствует;
- при увеличении ширины проема вдвое снижение уровней звука за проемом увеличивается на 1,5-2 дБА;
- при увеличении размера арки свыше трети длины здания уровни звука во дворе-колодце увеличиваются;
- затухание за боковым проемом при удвоении расстояния увеличивается на величину порядка 4,5 дБА;
- при увеличении размера бокового проема снижение уровней шума за ним уменьшается, начиная с длины в 20 м снижение шума за проемом, обусловленное частичным экранированием источника, неизменно и составляет около 6 дБА.

геометрическая дивергенция:

- в случае плотной застройки при наличии плоской и квазиплоской волны затухание незначительно, при переходе звуковой волны в цилиндрическую затухание составляет около 3 дБА на удвоение расстояния, в поле квазицилиндрической волны затухание составляет 4-5 дБА на удвоение расстояния, при переходе от квазицилиндрической волны к сферической затухание увеличивается до 7 дБА;

– в случае разреженной застройки в поле квазицилиндрической волны снижение уровней шума составляет до 6 дБА на удвоение расстояния;

отражение:

– при наличии параллельных фасадов происходит отражение шума, в результате чего затухание шума за проемом практически отсутствует;

– затухание уровней шума во дворе, развернутом в сторону источника шума (транспортного потока), практически не зависит от расстояния и составляет не более 3 дБА;

– дополнительное снижение уровней шума за П-образным или Ш-образным зданием практически постоянно на всей территории двора за счет квазидиффузного характера звукового поля, образованного во дворе;

звукопоглощение:

– звукопоглощающие свойства материала в зависимости от величины коэффициента звукопоглощения материала фасада могут обеспечить вклад в снижение уровней шума за зданием от 1 до 10 дБА;

– покрытие двора травой или рыхлым грунтом может обеспечить дополнительное снижение уровней шума во дворе-колодце до 2-3 дБА, наличие кустов может обеспечить дополнительное снижение уровней шума до 6-8 дБА.

10. Разработаны и уточнены методики экспериментальных исследований для определения шумовых характеристик автомобильных дорог, железных дорог и авиационного транспорта, экспериментальных исследований для оценки затухания уровней шума в жилой застройке, по которым проведены измерения шума в реальных условиях, уточнено влияние параметров застройки на снижение шума. Обработка результатов измерений производилась по стандартной методике, погрешность измерений составила $\pm 1,5$ дБА.

11. В ходе анализа результатов круглогодичных измерений шумовых характеристик были определены и обоснованы принципы построения карт шума и требования к параметрам, оцениваемым при картировании шума. Так, для автотранспорта и железнодорожного транспорта карты шума строятся по эквивалентному уровню звука в дневное время. При наличии в потоке железнодорожного транспорта значительной доли грузовых поездов дополнительно осуществляется картирование шума по максимальным уровням звука. Картирование шума авиационного транспорта производится как по эквивалентным, так и по максимальным уровням звука для дневного и ночного времени раздельно.

12. Для проверки точности предложенного инженерного метода оценки дифракции в застройке выполнен проверочный расчет шума по разработанным формулам и сравнение его результатов с данными измерений. Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными показало хорошую корреляцию результатов расчета с результатами измерений: отклонение результатов расчета от результатов измерений составляет 1-3 дБА. Преимуществом предлагаемого в диссертации метода расчета по сравнению с зарубежными методами является то, что он прост в использовании,

может применяться как для ручного расчета, так и для программных средств и не требует больших временных затрат.

13. Апробация предложенных решений выполнена при помощи разработки карт шума более чем 50 проектов строительства и реконструкции участков автомобильных дорог (таких как М-1, М-8, обход г. Сергиев Посад и др.), железных дорог (ВСМ Санкт-Петербург-Москва, Октябрьская железная дорога на участке Санкт-Петербург – Бусловская и Санкт-Петербург – Петро-Славянка, Приволжская железная дорога и др.), аэропорта Пулково. Одним из наиболее значимых результатов внедрения предлагаемого подхода является разработка карты шума г. Санкт-Петербурга (2006 и 2013 г.г.), в ходе составления которой были построены карты шума автодорог, железных дорог и аэропорта, расположенных на территории города, кроме того, были учтены и другие источники шума, такие как промышленные предприятия и водный транспорт, а также суммарное влияние всех источников шума.

14. Результаты данной работы были положены в основу адаптации международной расчетной программы SoundPLAN, мирового лидера по расчету уровней шума и разработки карт шума, к требованиям российского законодательства. В результате адаптации был получен сертификат соответствия программного средства российскому законодательству.

15. На основании классификации источников шума были разработаны указания по разработке планов снижения шума автомобильного, железнодорожного транспорта и аэропортов, апробированные при разработке карт шума, которые включают требуемое снижение уровней звука, размер зоны санитарного разрыва, рекомендуемые мероприятия в зависимости от категории автомобильной дороги, железнодорожной линии или класса аэропорта. Шумозащитные мероприятия для жилой застройки определены при помощи теоретических исследований предложенных формул, а также замеров шума в жилой застройке.

16. На основании проведенных исследований были разработаны методические указания по составлению оперативных карт шума, базирующиеся на новых принципах картирования шума, основанных на классификации источников шума, а также на предложенных схемах и математических моделях распространения шума в застройке, а также указания по разработке планов снижения шума, апробированные на практике, которые широко используются в деятельности проектных, контролирующих организаций, а также заказчиков строительства, что подтверждено актами внедрения данной работы.

17. Результаты исследований послужили основой для разработки новых научно-технических документов:

- ГОСТ Р 54933-2012 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом»;
- Изменение №1 к ГОСТ 33325 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом»;

- ГОСТ Р 56394-2015 «Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта. Общие требования и методы построения»;
- Положение о разработке, утверждении и применении карт шума территорий, прилегающих к объектам инфраструктуры железнодорожного транспорта (Утверждено Распоряжением ОАО «РЖД» от 11.01.2017 № 43р);
- СП 276.1325800.2016 «Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков»;
- СТО АВТОДОР 2.9-2014 «Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации акустических экранов на автомобильных дорогах государственной компании «АВТОДОР», а также актуализированная редакция СТО АВТОДОР 2.9-2019.

Основные положения диссертации изложены в 104 публикациях, основные из которых следующие:

Статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:

1. Буторина, М. В. Оценка акустического загрязнения от автомобильных дорог и выбор мероприятий по снижению шума / М. В. Буторина, Н. В. Тюрина // Безопасность жизнедеятельности: научно-практический и учебно-методический журнал. – Москва : Новые технологии. – 2005. – № 10. – С. 21-25. (доля автора 60%).
2. Буторина, М. В. Снижение шума при проектировании транспортного обхода вокруг Санкт-Петербурга / М. В. Буторина, Н. И. Иванов, Н. В. Тюрина // Безопасность жизнедеятельности: научно-практический и учебно-методический журнал. – Москва : Новые технологии. – 2006. – № 1. – С. 30-35. (доля автора 70%).
3. Буторина, М. В. Результаты картирования шума в Санкт-Петербурге / М. В. Буторина, Н. И. Иванов, А. В. Кудаев, Д. А. Куклин, Г. М. Курцев, А. Ю. Олейников, А. Е. Шашурин // Безопасность жизнедеятельности: научно-практический и учебно-методический журнал. – Москва : Новые технологии. – 2009. – № 8. – С. 9-12. (доля автора 30%).
4. Буторина, М. В. Особенности расчета уровней шума автотранспортных потоков / М. В. Буторина, Н. И. Иванов, Н. Н. Минина // Безопасность жизнедеятельности: научно-практический и учебно-методический журнал. – Москва : Новые технологии. – 2009. – № 8. – С. 22-24. (доля автора 60%).
5. Буторина, М. В. Исследования шума поездов / М. В. Буторина, Д. А. Куклин, Н. И. Иванов // Безопасность жизнедеятельности: научно-практический и учебно-методический журнал. – Москва : Новые технологии. – 2009. – № 8. – С. 25-29. (доля автора 30%).
6. Буторина, М. В. Проблема защиты от шума / М. В. Буторина, Н. И. Иванов, Н. Н. Минина // Вестник МГСУ. – 2011. – Т. 1. – № 3. – С. 135-145. (доля автора 35%).

7. Буторина, М. В. Оценка уровней шума потоков железнодорожного транспорта / М. В. Буторина, Д. А. Куклин // Жилищное строительство: Научно-технический и производственный журнал. – Москва : Изд-во «Стройматериалы». – 2012. – № 6. – С. 37-39. (доля автора 30%).

8. Буторина, М. В. Снижение шума железнодорожного транспорта / М. В. Буторина, Н. И. Иванов, Д. А. Куклин, П. В. Матвеев // Безопасность жизнедеятельности: научно-практический и учебно-методический журнал. – Москва : Новые технологии. – 2012. – № 12. – С. 1-23. (доля автора 35%).

9. Буторина, М. В. Применение технологий информационного моделирования (BIM) при разработке шумозащитных мероприятий для автодорог / М. В. Буторина, Е. П. Анисимов, Д. А. Куклин, Н. В. Тюрина // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2016. – № 6 (982). – С. 18-21. (доля автора 50%).

10. Буторина, М. В. Зонирование городской территории по факторам загрязнения атмосферы / М. В. Буторина, Д. А. Куклин // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Экономика. Социология. Культурология. – 2017. – №2 (06). – С. 13-21. (доля автора 50%).

11. Буторина, М. В. Риск-ориентированный подход к оценке шума железнодорожного транспорта / М. В. Буторина, Д. А. Куклин, А. П. Васильев, А. В. Шабарова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. - № 1 (73). – с. 28-33. (доля автора 30%).

12. Буторина, М. В. Классификация железнодорожных линий по уровням шума и шумозащитные мероприятия / М. В. Буторина, Д. А. Куклин // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 9 – С. 15-19. (доля автора 75%).

13. Буторина, М. В. Оценка шума железнодорожного транспорта и разработка шумозащитных мероприятий / М. В. Буторина, Д. А. Куклин, П. В. Матвеев, А. Ю. Олейников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 2 (74). – С. 57-65. (доля автора 50%).

14. Буторина, М. В. Классификация аэропортов по уровням шума и разработка шумозащитных мероприятий / М. В. Буторина // Noise theory and practice. – 2020. – Vol.6. – № 2. – С. 66-79. (доля автора 100%).

15. Буторина, М. В. Классификация автомобильных дорог по уровням шума / М. В. Буторина, Н. В. Тюрина, Н. И. Иванов, В. А. Санников // Noise theory and practice. – 2020. – Vol.6. – № 4. – С. 22-32. (доля автора 70%).

16. Учет погрешностей при построении карт шума / М. В. Буторина, А. В. Осетров, В. А. Светлов, К. П. Фиев // Noise theory and practice. – 2020. – Vol.6. – № 4. – С. 81-89. (доля автора 70%).

17. Буторина, М. В. Оценка снижения уровней шума зданиями различной формы / М. В. Буторина, Д. А. Куклин, Л. Ф. Дроздова // Noise theory and practice. – 2020. – Vol.6. – № 4. – С. 95-103. (доля автора 70%).

Статьи и материалы конференций, основные из которых:

1. Буторина, М. В. Контроль шума в жилой застройке с помощью построения электронной карты шума / М. В. Буторина., Н. И. Иванов // Труды Международного конгресса «Новое в экологии

и безопасности жизнедеятельности», Санкт-Петербург: БГТУ, 14-16 июня 2000, т. 2. (доля автора 50%).

2. Butorina, M. V. Applied Methodology of Noise Mapping in Saint-Petersburg, Russia = Прикладная методика построения карт шума в Санкт-Петербурге, Россия / M. V. Butorina, N. I. Ivanov // Proceedings of 17th ICA Rome, September 2-7, 2001. – 7A.13.06. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). (доля автора 50%).

3. Butorina, M. V. Design-research approach for development of noise maps = Научно-исследовательский подход к разработке карт шума / M. V. Butorina, N. I. Ivanov // Proceedings of the conference DAGA-20001, Hamburg, March 26-29, 2001. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). (доля автора 65%).

4. Butorina, M. Road noise map as a tool of effective transport noise reduction = Карта шума автомагистрали как эффективный инструмент борьбы с шумом / M. Butorina // Proceedings of the 6th International Symposium Transport Noise and Vibration, Saint-Petersburg, 2002. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). (доля автора 100%).

5. Butorina, M. Ways and methods to reduce noise in the inhabited area at the design and building of the highways = Пути и методы снижения шума в жилой застройке при проектировании и строительстве автодорог / M. Butorina, N. Ivanov // Proceedings of the 6th International Symposium Transport Noise and Vibration, Saint-Petersburg, 2002. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). (доля автора 50%).

6. Буторина, М. В. Составление карты шума автомобильных дорог и ее использование для снижения шума в жилой застройке (на примере транспортного обхода вокруг Санкт-Петербурга) : дисс. ... канд. техн. наук : 01.04.06 / Буторина Марина Вадимовна ; Балт. гос. техн. ун-т. – Санкт-Петербург, 2002. – 204 с. (доля автора 100%).

7. Butorina, M. Use of computational method for evaluation and reduction of transport noise = Использование компьютерных методов оценки и снижения шума автотранспорта / M. Butorina // Proceedings of the Eleventh International Congress, 5-8 July 2004, Saint-Petersburg, Russia. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). (доля автора 100%).

8. Буторина, М. В. Контроль шума с помощью новейшей сертифицированной программы для расчета шума SoundPLAN / М. В. Буторина, А. Берндт, Й. Шаль // Научно-практическая конференция с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия» (Санкт-Петербург 21-22 марта 2006): сб. трудов. – Санкт-Петербург : БГТУ, 2006. – С. 66-76 (доля автора 50%).

9. Butorina, M. Railroad noise control and abatement = Контроль и снижение шума железной дороги / M. Butorina, J. Schaal // Proceedings of the 8th International Symposium Transport Noise and Vibration – 2006. Saint-Petersburg, June 4-6, 2006. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). (доля автора 70%).

10. Буторина, М. В. Контроль и снижение шума железнодорожного транспорта / М. В. Буторина // Строительная физика в XXI веке: материалы научно-технической конференции / под ред. И. Л. Шубина. – Москва : НИИСФ РААСН, 2006. – С. 348-352. (доля автора 100%).

11. Буторина, М. В. Составление карт шума территории г. Санкт-Петербурга шума / М. В. Буторина // Известия Самарского научного центра РАН, 2007. – с. 29-33. (доля автора 100%).

12. Butorina, M. Comparative analysis of railway noise attenuation = Сравнительный анализ снижения внешнего шума железнодорожного транспорта / M. Butorina, N. Ivanov, D. Kuklin // Proceedings of the 16th International Congress on Sound and Vibration (Kraków, Poland 5-9 July 2009). – Kraków, 2009. – P. 628-636. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). (доля автора 40%).
13. Буторина, М. В. Концепция и разработка карт шума городов и населенных пунктов / М. В. Буторина // В сборнике: Защита населения от повышенного шумового воздействия. Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург : БГТУ, 2009. – С. 117-140. (доля автора 100%).
14. Буторина, М. В. Разработка карты шума участка железной дороги / М. В. Буторина, Д. А. Куклин // В сборнике: Защита населения от повышенного шумового воздействия. Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / под ред. Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург : БГТУ, 2009. – С. 580-585 (доля автора 50%).
15. Буторина, М. В. Современные требования к проектам СЗЗ с точки зрения акустического воздействия / М. В. Буторина // Семинар «Акустическое воздействие на окружающую среду и здоровье человека»: сб. трудов – Санкт-Петербург : БГТУ, 2009. (доля автора 100%).
16. Буторина, М. В. Контроль и снижение шума аэропорта «Пулково» / М. В. Буторина, Н. И. Иванов, А. Е. Шашурин // В сборнике: Защита населения от повышенного шумового воздействия. Сборник докладов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург: БГТУ, 2011. – С. 568-579. (доля автора 35%).
17. Буторина, М. В. Нормативно-техническая документация по снижению шума железнодорожного транспорта / В. А. Аистов, М. В. Буторина, Л. Ф. Дроздова, Д. А. Куклин [и др] // XV международная научно-практическая конференция «Проблемы и пути развития энергосбережения и защиты от шума в строительстве и ЖКХ» (Москва-Будва (Черногория), 2011): матер. конф. – 2011. – С. 134-141. (доля автора 20%).
18. Буторина, М. В. Оперативные карты шума для железнодорожного транспорта: назначение, общие требования и примеры применения / М. В. Буторина // В сборнике: Защита от повышенного шума и вибрации: сб. докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. Н. И. Иванова. Санкт-Петербург : БГТУ, 2013. – С. 163-176. (доля автора 100%).
19. Буторина, М. В. Проектирование акустических конструкций для защиты территории, прилегающей к автомобильным дорогам / М. В. Буторина // Журнал «Дорожники». – 2014. – № 11. (доля автора 100%).
20. Буторина, М. В. Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта. Общие требования и методы построения / М. В. Буторина // В сборнике: Защита от повышенного шума и вибрации: сб. докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. Н. И. Иванова. Санкт-Петербург : БГТУ, 2015. – С. 104-112. (доля автора 100%).
21. Буторина, М. В. Расчетный метод для картирования шума железнодорожного транспорта / М. В. Буторина, Д. А. Куклин // V международный экологический конгресс (Седьмая международная научно-техническая конференция) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-

транспортных комплексов ELPIT 2015» (г. Самара 16-20 сентября 2015): сб. трудов. – Самара; Тольятти: АНО «Издательство СНЦ», 2015. – Т.4; Научный симпозиум «Экологический мониторинг промышленно-транспортных комплексов». – С. 53-61. (доля автора 50%).

22. Буторина, М. В. Шумозащитные мероприятия при проектировании автодорог с использованием BIM / М. В. Буторина, Е. П. Анисимов, Н. В. Тюрина // Дороги. Инновации в строительстве. – 2016. – № 53. – С. 57-59. (доля автора 30%).

23. Butorina, M. Approaches to the rail noise reduction / M. Butorina, L. Drozdova, D. Kuklin // Proceedings of 24th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). (доля автора 60%).

24. Butorina, M. Reduction of Vibroacoustic Effect of High-speed Trains = Снижение вибрационного и шумового воздействия высокоскоростных поездов / N. Minina, P. Ivanov, A. Petryaev // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 189. – p. 352-359. (доля автора 65%).

25. Буторина, М. В. Проблема снижения шума автотранспорта / М. В. Буторина, Д. А.Куклин // Школа науки. – 2018. – № 10(10). – С. 16-19. (доля автора 60%).

26. Буторина, М. В. Инженерный метод геометрической акустики для оценки дифракций высокого порядка в застройке / М. В. Буторина, Д. А. Куклин, А. В. Шабарова // В сборнике: Защита от повышенного шума и вибрации: сб. докладов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. Н. И. Иванова. Санкт-Петербург : БГТУ, 2019. – С. 465-475. (доля автора 80%).

27. Butorina, M. Engineering geometrical acoustic method for higher-order diffraction of sound in building = Инженерный метод оценки дифракции звука высокого порядка в жилой застройке / M. Butorina, A. Shabarova, V. Sannikov, A. Osetrov // Proceedings of 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (2019 ElConRus), St.Petersburg, Russia, January 2019. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). (доля автора 70%).

28. Butorina, M. Classification of railway lines by noise emission for noise protection design = Классификация железнодорожных линий по уровням шума для разработки шумозащитных мероприятий / M. Butorina, D. Kuklin, A. Oleinikov // Akustika. – 2019. – Vol. 32. – P. 228-234. (доля автора 70%).

29. Butorina, M. Implementation of noise data into building information model for transport and industrial noise reduction = Внедрение данных в цифровую модель для снижения шума транспорта и промышленного шума / M. Butorina, L. Drozdova, D. Kuklin // Akustika. – 2019. – Vol. 34. – P. 7-12. (доля автора 60%).

30. Butorina, M. Noise zoning of the city using noise mapping = Зонирование города по уровням шума при помощи карт шума / M. Butorina, A. Shabarova, D. Kuklin // Proceedings of 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (2020 ElConRus), St.Petersburg, Russia, January 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). (доля автора 60%).

31. Буторина, М. В. Картирование шума транспорта на территории городской застройки: Монография. – СПб : Балт. гос. техн. ун-т, 2020. – 224 с. – 300 экз. – ISBN 978-5-907324-15-2 (доля автора 100%).

Нормативная документация:

1. Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом : ГОСТ Р 54933-2012. – Введ. 2013-03-01. – Москва : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2012. – 36 с.
2. Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации акустических экранов на автомобильных дорогах государственной компании «АВТОДОР» : СТО АВТОДОР 2.9-2014. – Введ. 2014-09-16.– М.: ГК «Автодор», 2014. – 81 с.
3. Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта. Общие требования и методы построения : ГОСТ Р 56394-2015. – Введ. 2015-09-01. – Москва : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2015. – 16 с.
4. Положение о разработке, утверждении и применении карт шума территорий, прилегающих к объектам инфраструктуры железнодорожного транспорта – Введ. 2017-01-11. – МОСКВА : ОАО «РЖД», 2017. – 7 с.
5. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков : СП 276.1325800.2016 – Введ. 2017-06-04. – Москва : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2017. – 82 с.
6. Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом : Изменение №1 к ГОСТ 33325. – Введ. 2020-02-01. – Москва : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2019. – 20 с.

Издательство Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная. Тираж 130 экз.

Отпечатано в типографии БГТУ.
190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1