

Балтийский государственный  
технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова



На правах рукописи

ВАСИЛЬЕВА АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ШУМА НА  
СУЩЕСТВУЮЩУЮ И ПРОЕКТИРУЕМУЮ ЖИЛУЮ ЗАСТРОЙКУ**

1.3.7 – Акустика

Диссертация на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, доцент  
Буторина Марина Вадимовна

Санкт-Петербург  
2024

## Оглавление

Введение.....	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	11
1.1. Проблема влияния железнодорожного шума на население.....	11
1.2. Нормирование железнодорожного шума в разных типах застройки.....	14
1.3. Описание объектов исследования.....	20
1.3.1 Процессы шумообразования потоков железнодорожного транспорта.....	20
1.3.2 Описание различных типов застройки.....	23
1.4. Распространение шума в застройке.....	29
1.5. Разработка мероприятий по снижению шума железнодорожного транспорта.....	42
1.5.1 Санитарные разрывы .....	42
1.5.2 Снижение шума на пути распространения .....	44
1.5.3 Снижение шума в источнике .....	46
1.5.4 Методы снижения шума, применяемые за рубежом .....	46
1.6. Постановка задач исследования.....	49
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	51
2.1. Измерения шумовых характеристик потоков железнодорожного транспорта.....	51
2.2. Проведение измерений распространения шума в жилой застройке .....	55
2.3 Измерительная аппаратура.....	57
2.4. Обработка результатов измерений .....	59
Выводы по главе.....	63
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ЗАСТРОЙКЕ.....	64
3.1. Общие положения и допущения теории .....	64
3.2. Исследования распространения шума в городской застройке .....	65
3.3. Исследования распространения шума в сельской застройке.....	87
3.4. Оценка затухания шума в застройке в зависимости от высоты .....	99
3.5. Оценка совокупного влияния факторов на затухание шума.....	118
Выводы по главе.....	132
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШУМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В ЗАСТРОЙКЕ .....	133
4.1. Исследования шума потоков железнодорожного транспорта .....	133
4.2. Классификация железных дорог по уровням шума .....	142
4.3. Расчет распространения шума в городской застройке .....	154
4.4. Расчет распространения шума в сельской застройке .....	157
Выводы по главе.....	158

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО РАЗМЕЩЕНИЮ НОРМИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И ВЫБОРУ ШУМОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	160
5.1. Разработка методических указаний по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов железнодорожного транспорта.....	160
5.2. Разработка методических указаний по размещению нормируемых объектов вблизи железных дорог .....	164
5.3. Апробация результатов исследования.....	169
Выводы по главе.....	172
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	173
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КАРТЫ ШУМА УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ.....	189
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ .....	197
Таблица П2.1. Шумовые характеристики участков железных дорог .....	197
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. РАСЧЕТЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА В УСЛОВИЯХ ЗАСТРОЙКИ.....	211
Таблица П3.1 – Расчеты снижения шума в условиях городской застройки .....	211
Таблица П3.2 – Расчеты снижения шума в условиях сельской застройки.....	213
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ.....	215

## Введение

Проблема воздействия повышенных уровней шума на население не теряет своей актуальности. Ежегодные доклады Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека подтверждают наличие большого количества жалоб населения на повышенные уровни шума. Основным источником шума в городе является транспорт, и, в первую очередь, автомобильный транспорт, как самый распространенный и многочисленный. Однако, проблема шума железнодорожного транспорта также существует и беспокоит городское население. По результатам исследований, проведенных в рамках разработки карты шума Санкт-Петербурга, созданной в 2006 году, приблизительно 10 % городской территории попадает в зону превышения нормативных уровней шума из-за железнодорожного транспорта. Превышения уровней шума от железнодорожного транспорта варьируются от 4 до 20 дБА в зависимости от расстояния от железной дороги до ближайшей застройки. [1 - 5]

Вопросами изучения распространения и снижения транспортного шума в жилой застройке в нашей стране занимались М.В. Буторина, Д.А. Куклин, А.В. Васильев, В.Н. Зинкин, Н.И. Иванов, В.Ю. Кирпичников, Н.Н. Минина, Г.Л. Осипов, Н.В. Тюрина, А.Е. Шашурин, П.В. Матвеев, И.Л. Шубин, Ю.И. Элькин, Е.Я. Юдин и др. За рубежом над данными вопросами работали: Д. Томпсон, Х. Паукерт, Т. Климпель, М. Дж. Крокер, З. Маекава, Р.Х. Болт, Л.Л. Беранек, Р.Б. Ньюман и др.

На сегодняшний день в городах имеет место проблема нехватки территорий для строительства в связи с большим ростом объема строительства нового жилья. Зоны санитарного разрыва вдоль линий железных дорог помогают решить проблему сверхнормативного воздействия шума, но их размер может быть очень большим, и тогда значительная часть территории не может быть использована для строительства жилых домов. Данная проблема может быть решена путем применения шумозащитных мероприятий, которые позволят снизить акустическое воздействие железнодорожного транспорта на прилегающую территорию. Для

выбора наиболее эффективных шумозащитных мероприятий необходимо учитывать все особенности будущей застройки. Кроме того, улучшить акустическую ситуацию в новых кварталах позволит шумозащитное расположение зданий различного назначения на застраиваемой территории, прилегающей к железной дороге.

Проблема близкого расположения жилых домов к железной дороге существует не только для перспективного строительства, но и для существующей застройки. Помимо городской многоэтажной застройки существует сельская застройка, представляющая собой отдельно стоящие малоэтажные дома. В подобных местах, где железные дороги проходят прямо по территории поселков, часто можно наблюдать расположенные очень близко к железной дороге дома. Определение уровней шума на территории с повышенными уровнями шума в таких случаях производится путем проведения натуральных измерений что, несомненно, повышает точность при расчете шумозащитных мероприятий, однако выбор самих мероприятий сужается и зависит от технической возможности их реализации в данных условиях.

Рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий и размещению нормируемых объектов вблизи железных дорог позволят минимизировать затраты на разработку шумозащитных мероприятий и подобрать наиболее правильный с точки зрения акустического комфорта вариант расположений жилых домов вблизи железной дороги.

Немаловажную роль в подборе шумозащитных мероприятий играет корректный расчет распространения шума в застройке. В ходе исследования были проведены натурные измерения затухания шума в застройке и выполнено сравнение полученных экспериментально значений с расчетными величинами. Результаты показали неудовлетворительную сходимость, что позволяет сделать вывод о том, что существующие методики не учитывают всех особенностей распространения шума в жилых массивах. Кроме того, существующие методики достаточно сложны для использования, их применение требует специальных навыков, что затрудняет принятие решения о шумозащите на стадии оценки

инвестиций, когда акустические расчеты еще не выполнены. Результатом чего становятся малоэффективные дорогостоящие мероприятия, не позволяющие обеспечить акустический комфорт на всей территории защищаемой застройки. Инвесторам и заказчикам строительства объектов необходимо предоставить удобный инструмент для проведения предварительной оценки объема шумозащитных мероприятий, а также планирования застройки.

#### **Научно-техническая гипотеза:**

Разработка расчетной модели и расчетных формул для определения снижения звука в типовых массивах застройки позволит уточнить и упростить оценку уровней шума железнодорожного транспорта на селитебной территории, а также разработать наиболее эффективные шумозащитные мероприятия.

**Целью работы** является выявление типовых, с точки зрения распространения шума, массивов зданий в городской и сельской застройке и разработка расчетной модели распространения шума в этих массивах, а также разработка расчетной методики для оценки затухания звука для разработанных расчетных схем. Кроме того, в качестве результатов работы будут даны рекомендации по размещению жилой застройки на территориях вдоль существующих железных дорог.

#### **Задачи исследования:**

- выявление типовых, с точки зрения распространения шума, массивов зданий в городской и сельской застройке;
- выполнение теоретических исследований распространения и затухания звука от железной дороги в различных типах застройки;
- разработка методики экспериментальных исследований затухания шума железнодорожного транспорта в различных типах застройки;
- выполнение экспериментальных исследований по уточнению и выявлению влияния различных свойств элементов застройки на затухание шума;
- разработка расчетных схем для оценки снижения шума на территории типовой застройки с учетом особенностей распространения звука;

- разработка расчетных формул для расчета затухания звука в данных расчетных схемах;
- разработка классификации железных дорог по их шумовым характеристикам на основе «Методики классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД» от 13.01.2020
- разработка рекомендаций по выбору шумозащитных мероприятий исходя из типов застройки;
- разработка рекомендаций по размещению нормируемых объектов на территориях вдоль существующих железных дорог;
- апробация на практике предложенных методик и подходов.

**Объекты исследования** – железные дороги как источник шума и жилая застройка как зона распространения звука.

**Предмет исследования** – распространение шума железных дорог в жилой застройке.

**Научная новизна:**

1. Разработаны расчетные схемы распространения шума на территории застройки для типовых жилых массивов с учетом особенностей распространения звука (экранирования, дифрагирования, звукопоглощения, отражения, геометрической дивергенции);
2. Установлена взаимосвязь между параметрами застройки и снижением шума железнодорожного транспорта при распространении в ней;
3. Получены формулы расчета распространения шума в типовых жилых массивах для городской и сельской застройки;
4. Исследованы шумозащитные мероприятия, наиболее эффективные для различных типов жилой застройки;
5. Исследованы существующие приемы размещения нормируемых объектов на территориях вдоль существующих железных дорог.

**Теоретическая значимость работы** заключается в установлении основных закономерностей распространения звука в различных типах застройки, в разработке методов оценки снижения шума и способов выбора шумозащитных

мероприятий исходя из типов застройки, разработке способов шумозащитного размещения застройки относительно источника шума.

**Практическая значимость работы:**

1. Разработана методика экспериментальных исследований затухания шума железнодорожного транспорта в различных типах застройки;
2. Получены результаты экспериментальных исследований, позволяющие установить связь между параметрами застройки и снижением звука в ней;
3. Разработаны расчетные схемы распространения шума на территории застройки для типовых жилых массивов, разработан инженерный метод оценки снижения шума для разработанных схем;
4. Разработаны рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий исходя из типов жилой застройки;
5. Разработаны рекомендации по размещению нормируемых объектов на территориях вдоль существующих железных дорог.

**На защиту выносятся:**

1. Методика экспериментальных исследований затухания шума железнодорожного транспорта в различных типах застройки;
2. Результаты экспериментальных исследований, позволяющие установить связь между параметрами застройки и снижением звука в ней;
3. Формулы расчета распространения шума в типовых жилых массивах для городской и сельской застройки;
4. Рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий исходя из типов жилой застройки;
5. Рекомендации по размещению нормируемых объектов на территориях вдоль существующих железных дорог.

**Методология и методы исследования.** Теоретической и методологической основой данной работы служат результаты фундаментальных и прикладных исследований в области процессов распространения звука в условиях застройки и шумообразования потоков железнодорожного транспорта. При разработке исследовательского подхода и проведении экспериментальных исследований

применялись современные методы системного анализа, математического моделирования и статистической обработки данных. Эмпирическая база исследований сформирована путем проведения серии натурных измерений на более чем 30 объектах.

**Степень достоверности** диссертационного исследования подтверждается серией экспериментов, выполненных в натуральных условиях с использованием прецизионной акустической аппаратуры, использованием современных методик испытаний и обработки информации. Результаты проведенных практических и теоретических исследований распространения шума удовлетворительно согласуются с результатами натурных измерений. Кроме этого, достоверность результатов исследований обоснована применением методического комплекса исследований, разработанной с учетом действующих нормативных документов РФ – СП, ГОСТ и т.д., успешной апробацией и внедрением полученных результатов исследований в практику проектирования шумозащиты.

#### **Апробация результатов исследования:**

Основные положения диссертации представлены и обсуждались на заседаниях кафедры «Экология и производственная безопасность» БГТУ «ВОЕНМЕХ» в 2024 г.; на IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации», Санкт-Петербург (БГТУ «ВОЕНМЕХ»), 26 – 28 апреля 2023 г; на XIV международной научно-практической конференции «Инвестиции, градостроительство, технологии как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения», г. Томск (ТГАСУ), 12 – 14 марта 2024 г.; на IX Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Акустика среды обитания», г. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 23 – 24 мая 2024 г.

#### **Внедрение результатов исследования:**

Результаты работы были использованы при разработке «Методических указаний по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов железнодорожного транспорта» по заказу ОАО «РЖД». Разработаны карты шума для более 50

участков железных дорог, при помощи которых были разработаны шумозащитные мероприятия, позволяющие обеспечить нормативные уровни шума на территории, прилегающей к железной дороге и в нормируемых объектах. Наиболее масштабными проектами являются разработка карт шума участка железной дороги Хабаровск I – Хабаровск II Дальневосточной железной дороги и Московских центральных диаметров.

**Личный вклад соискателя** учёной степени в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в том, что автором выполнены обзор литературных источников, экспериментальные исследования, разработаны расчетные схемы и формулы. Диссертационная работа в полном объёме является самостоятельным исследованием. В работах, написанных в соавторстве, автор описал проводимые эксперименты и их результаты, выявил зависимости различных параметров, сформулировал окончательные выводы по проведённым исследованиям.

#### **Публикации:**

По материалам диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 3 в журналах, входящий в перечень ВАК РФ (К2), в 2 статьях и материалах международных конференций, индексируемых в базах SCOPUS и WoS.

#### **Соответствие научно-квалификационной работы паспорту научной специальности:**

Тема диссертации соответствует пункту 6 паспорта научной специальности 1.3.7 «Акустика», отрасль науки – технические науки:

6. Акустика газовых сред, аэроакустика, приём и обработка звуковых сигналов в воздухе, мониторинг источников акустического шума в атмосфере, акустическая экология.

# ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

## *1.1. Проблема влияния железнодорожного шума на население*

Влияние шума на качество жизни людей как в мегаполисах, так и в небольших населенных пунктах является важной проблемой. Как известно, шум негативно влияет не только на органы слуха, но и на сердечно-сосудистую и центральную нервную систему. Длительное воздействие повышенных уровней шума может привести к развитию сердечно-сосудистых заболеваний, повышает риск инфарктов. Воздействуя на нервную систему, шум способствует повышению утомляемости, раздражительности, снижению концентрации, может стать причиной нервного истощения. Шум в ночное время вызывает нарушения сна, что также плохо сказывается на здоровье человека. [1, 2]

По данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека за 2023 год 41 % населения Российской Федерации (59,9 млн человек в 28 субъектах РФ) страдает от воздействия физических факторов. В структуре жалоб населения на воздействие физических факторов жалобы на повышенные уровни шума занимают 74,9% от общего числа. Доля измерений шума на территории жилой застройки, не соответствующих гигиеническим нормативам, в 2023 году составила 11,2 % от общего числа всех сделанных за год измерений. Таким образом, мы можем видеть, что шум действительно является проблемой для жителей России. [3, 4]

Несмотря на то, что шум от автомобильного транспорта намного более распространен, что связано с тем, что оживленных автомобильных дорог в городах гораздо больше, чем железных дорог, и застройка как правило прилегает к автодорогам ближе чем к железнодорожным путям, а также, несмотря на то, что автотранспортный шум считается более вредным для человека (при оживленном движении транспорта шум воздействует на человека непрерывно), проблема железнодорожного транспорта требует особого внимания. [5]

В Европе проблема шумового загрязнения ничуть не менее актуальна. В рамках выполнения требований Директивы по Шуму в Окружающей Среде (END

Directive (2002/49/EC) [6] к 2012 году были разработаны карты шума около 500 крупных Европейских городов. На основании полученных результатов был проведен анализ, который показал, что повышенному влиянию шума подвержено 33 % населения, из них около 73,5 млн человек страдает от шума автотранспорта, около 19 млн – от шума железнодорожного транспорта, около 4 млн – от шума аэропортов и менее 1 млн от шума промышленных предприятий. Таким образом в Европе железнодорожный шум стоит на втором месте по масштабу воздействия на население. [7 – 9]

В России подобные масштабные исследования не проводились, в связи с чем сделать однозначные выводы о степени воздействия шума на население нашей страны затруднительно. В 2006 году была разработана карта шума Санкт-Петербурга, которая позволила оценить акустическую ситуацию в городе. По результатам исследований было выявлено, что приблизительно 10 % городской территории попадает в зону превышения нормативных уровней шума из-за железнодорожного транспорта. Превышения уровней шума от железнодорожного транспорта варьируются от 4 до 20 дБА в зависимости от расстояния от железной дороги до ближайшей застройки. [11, 12]

В связи с высокими темпами строительства нового жилья и, как следствие, нехватки свободных территорий под строительство, возникает проблема размещения жилых домов вблизи железных дорог. Зоны санитарного разрыва ограничивают использование территорий вблизи железнодорожных линий, однако их размер может быть очень большим, и тогда значительная часть территории не может быть использована под жилую застройку. В таких случаях размеры зон санитарного разрыва можно сократить при помощи разработки шумозащитных мероприятий. В таких случаях важно не просто снизить уровни шума на территории, где в последствии будут построены дома, но и учесть особенности будущей застройки. Для этих целей используются карты шума, для построения которых создается модель территории с учетом железной дороги и других объектов, расположенных по близости, и модель будущего жилого квартала. [13 – 16] Карты шума позволяют выбрать набор шумозащитных мероприятий, в

частности определить необходимую высоту шумозащитного экрана для конкретного типа застройки. [17] При этом чрезвычайно важным является правильный расчет прогнозируемых на территории застройки уровней шума, который зависит от точности построения модели, реализуемой расчетной методики и определения шумовой характеристики источника шума. Помимо защиты территории от воздействия шума необходимо также предусмотреть мероприятия для защиты от шума жилых помещений, рассчитав необходимую звукоизоляцию окон во всех зданиях. Грамотный выбор шумозащитных мероприятий на этапе проектирования жилой застройки вблизи железных дорог позволит в будущем предотвратить проблему с превышением нормативных уровней шума на данном объекте и избежать жалоб жителей. [18, 19]

Проблема близкого расположения жилых домов к железной дороге существует не только для перспективного строительства, но и для существующей застройки. Если при новом строительстве можно еще на этапе проектирования учесть необходимые шумозащитные мероприятия и предотвратить возникновение проблемы акустического дискомфорта, то для существующих домов проблема уже есть. Определение уровней шума на территории в таких случаях производится путем проведения натурных измерений что, несомненно повышает точность при расчете шумозащитных мероприятий, однако выбор самих мероприятий сужается и зависит от технической возможности их реализации в данных условиях. Снижение уровней шума внутри жилых помещений требует больших затрат так как для этого часто приходится производить замену остекления. Во избежание конфликтов среди жителей дома рекомендуется производить замену остекления на шумозащитное по всему фасаду дома целиком.

Цель данной работы заключается в определении наиболее подходящих для размещения вблизи железных дорог различных категорий типов застройки и подборе шумозащитных мероприятий, наиболее рациональных для данных условий. Это поможет минимизировать трудовые затраты на разработку шумозащитных мероприятий и подобрать наиболее правильный с точки зрения

акустического комфорта вариант расположений жилых домов вблизи железной дороги.

## 1.2. Нормирование железнодорожного шума в разных типах застройки

Нормы шума для жилой застройки определяются в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [21]. Так как шум железнодорожного транспорта является непостоянным, то для него нормируются эквивалентные уровни звука и максимальные уровни звука в дБА. Для территорий жилой застройки и жилых помещений отдельно нормируются уровни звука в ночное время и в дневное время. В таблице 1.2.1 представлены нормы шума в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 и СП 276.1325800.2016.

Таблица 1.2.1. Нормы шума в Российской Федерации

№ п/п	Назначение помещений или территорий	Время суток	Для источников непостоянного шума	
			Эквивалентные уровни звука L(Аэкв.), дБА	Максимальные уровни звука L(Амакс), дБА
1.	Палаты больниц и санаториев, операционные больницы	с 7 до 23 ч.	35	50
		с 23 до 7 ч.	25	40
1.	Кабинеты врачей поликлиник, амбулаторий, диспансеров, больниц, санаториев	-	35	50
2.	Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории образовательных организаций, конференц-залы, читальные залы библиотек	-	40	55
3.	Музыкальные классы	-	35	50
4.	Жилые комнаты квартир, домов стационарных организаций социального обслуживания, организации для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, спальни	с 7 до 23 ч.	40	55
		с 23 до 7 ч.	30	45

№ п/п	Назначение помещений или территорий	Время суток	Для источников непостоянного шума	
			Эквивалентные уровни звука L(Аэкв.), дБА	Максимальные уровни звука L(Амакс), дБА
	помещения в школах-интернатах, дошкольных образовательных организациях, домов отдыха, пансионатов			
5.	Жилые комнаты общежитий и номера гостиниц	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	45 35	60 50
6.	Залы кафе, ресторанов, столовых	-	55	70
7.	Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, конструкторских, проектных и научно-исследовательских организаций		50	65
8.	Фойе театров и концертных залов	-	45	60
9.	Зрительные залы театров и концертных залов	-	30	45
10.	Многоцелевые залы	-	35	50
11.	Спортивные залы	-	45	60
12.	Торговые залы магазинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания	-	60	75
13.	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	45 35	60 50
14.	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, дошкольных образовательных организаций и других образовательных организаций	с 7 до 23 ч. с 23 до 7 ч.	55 45	70 60
15.	Границы санитарно-	с 7 до 23 ч.	55	70

№ п/п	Назначение помещений или территорий	Время суток	Для источников непостоянного шума	
			Эквивалентные уровни звука L(Аэкв.), дБА	Максимальные уровни звука L(Амакс), дБА
	защитных зон	с 23 до 7 ч.	45	60
16.	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	с 7 до 23 ч.	60	75
		с 23 до 7 ч.	50	65
17.	Площадки отдыха, функционально выделенные на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, стационарных организаций социального обслуживания, организаций для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, площадки дошкольных образовательных организаций и других образовательных организаций	-	45	60

Для шума, создаваемого железнодорожным транспортом, в 2 м от ограждающей конструкции первого эшелона шумозащитного типа жилого здания, гостиницы, общежития, обращенного в сторону железной дороги, допускается принимать норму на 10 дБА выше, приведенной в таблице 1.2.1.

СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» [23] содержит пункт 130 в котором говорится о том, что в дневное время в жилых помещениях допускается превышение предельно допустимого уровня шума на 5 дБА.

В санитарных нормах, принятых на территории Российской Федерации, нет различий в зависимости от источников шума (за исключением шума оборудования, обслуживающего жилые здания, для которого принимается поправка в минус

5 дБА), нормы, приведенные в таблице 1.2.1 справедливы как для шума железнодорожного транспорта, так и для автотранспорта и других источников шума. [24]

Однако в странах ЕС были проведены исследования, которые выявили, что шум железнодорожного транспорта вызывает у людей меньшее раздражение, чем другие виды шума, например, автотранспортный. Результаты опросов, проведенных среди жителей Германии, показали, что 80 % людей, живущих вблизи железных дорог, привыкают к шуму железнодорожного транспорта. В связи с этим в нормативные значения уровней шума был введен бонус для железнодорожного шума (бонус за менее вредное восприятие шума), который составил минус 5 дБА. [22]

В таблице 1.2.2 приведены нормы шума для железнодорожного транспорта в различных странах. Нормы устанавливаются отдельно для новых, проектируемых железнодорожных линий и отдельно для существующих. Для существующих железных дорог нормы, как правило на 5 дБА выше, чем для проектируемых. Кроме того, в некоторых странах установлены значения уровней звука, при достижении которых необходимо принимать меры по снижению шума. [25]

*Таблица 1.2.2. Нормы шума для железнодорожного транспорта, установленные для жилой застройки в разных странах*

Страна	Существующая или реконструируемая железнодорожная линия, дБА	Новая железнодорожная линия, дБА	Комментарии
Австралия (разные штаты)	65 $L_{A_{ЭКВ}}$ * (день) 60 $L_{A_{ЭКВ}}$ ** (ночь) 65 $L_{A_{ЭКВ}}$ (24 часа) 85-87 $L_{A_{макс}}$	55-60 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 50-55 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь) 65 $L_{A_{ЭКВ}}$ (24 часа) 87-80 $L_{A_{макс}}$	В Квинсленде и Тасмании для существующих железных дорог установлены планируемые значения уровней шума, которые должны быть достигнуты в перспективе и промежуточные уровни, которые должны быть достигнуты в ближайшее время
<i>Страны Европы</i>			
Австрия	-	65-70 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 55-60 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь)	Включая бонус 5 дБА.
Дания	-	63 $L_{A_{ЭКВ}}$ (24 часа) 85 $L_{A_{макс}}$	Включая бонус 5 дБА. При уровне 68 дБА домовладелец должен внести 50% оплаты за повышение звукоизоляции, при

Страна	Существующая или реконструируемая железнодорожная линия, дБА	Новая железнодорожная линия, дБА	Комментарии
			уровне 73 дБА – 25 %, и при уровне <78 дБА – 10%
Финляндия	-	58 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 53 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь)	-
Франция	-	63 (60) $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 58 (55) $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь)	В скобках приведены значения для высокоскоростных линий
Германия	Планируемые показатели для новых жилых зданий 58-63 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 48-53 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь)	67 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 57 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь)	Включая бонус 5 дБА
Нидерланды	-	63 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 58 $L_{A_{ЭКВ}}$ (вечер) 53 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь)	Включая бонус 5 дБА. При уровне $L_{A_{ЭКВ}}$ 68 дБА государство несет ответственность за устранение проблемы шума. $L_{A_{ЭКВ}}$ 73 дБА это предельно допустимый уровень, при котором необходимо обеспечить уровни шума внутри помещений, равные $L_{A_{ЭКВ}}$ 40 дБА
Норвегия	-	55-60 $L_{A_{ЭКВ}}$ (24 часа) 80 $L_{A_{МАКС}}$ 45-55 $L_{A_{МАКС}}$ (внутри жилых помещений)	Выплаты начинаются с уровнем $L_{A_{ЭКВ}}$ (24ч) > 65 дБА или $L_{A_{МАКС}}$ > 90 дБА. Если житель не согласен, тогда выполняется звукоизоляция, обеспечивающая уровень шума внутри помещений $L_{A_{ЭКВ}}$ (24ч) < 35 and $L_{A_{МАКС}}$ < 55 дБА
Швеция	-	58 $L_{A_{ЭКВ}}$ (24 часа) 45 $L_{A_{МАКС}}$ (внутри жилых помещений)	-
Швейцария	60-65 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 50-55 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь)  «Пороговый уровень воздействия»: считается, что уровни ниже указанных не оказывают негативного воздействия	55-60 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 45-50 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь)  «Планируемый уровень»: Уровни для планирования новых жилых районов	Указаны уровни для жилых районов, выделяются также более чувствительные зоны, для которых уровни на 5 дБА ниже. Для коммерческих и промышленных территорий уровни на 5 и 10 дБА выше соответственно. Бонус в 5-15 дБА добавляется в зависимости от количества поездов. Чем выше интенсивность, тем бонус ниже. Приведенные уровни допускают бонус в 5 дБА. 70 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 65 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь) «Аварийный уровень»: требуются мероприятия по снижению шума
Великобритания	-	-	Критерии для оценки требований

Страна	Существующая или реконструируемая железнодорожная линия, дБА	Новая железнодорожная линия, дБА	Комментарии
			к снижению шума: 68 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) 63 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь)
<i>Северная Америка</i>			
Канада	-	35 $L_{A_{ЭКВ}}$ (ночь) (спальни) 40 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) (в жилых помещениях) 55 $L_{A_{ЭКВ}}$ (день) (снаружи)	-
США	-	52-65 $L_{A_{ЭКВ}}$ (спокойствие) 52-65 $L_{A_{ЭКВ}}$ (жилые территории) 57-70 $L_{A_{ЭКВ}}$ (школы и пр.) (5 дБА добавляется для высокоскоростного движения на магнитной подвеске)	Зависит от существующих уровней шума. Указанные критерии могут различаться, так как фоновые уровни шума варьируются от 43 до 63 дБА. Критерии отражают наименьшее воздействие, а также являются совокупными уровнями (т.е. фоновые уровни плюс железнодорожный шум).
<i>Азия</i>			
Гонконг	-	60 $L_{A_{ЭКВ}}$ (за 30 мин, день и вечер) 50 $L_{A_{ЭКВ}}$ (за 30 мин, ночь) 85 $L_{A_{МАКС}}$ (ночь)	Уровни указаны для жилых территорий, не подверженных влиянию других источников шума. Если есть дополнительные источники, необходимо добавить 5-10 дБА к эквивалентному уровню.
Япония	-	70 $L_{A_{ПИК}}$ *** (жилые территории) 75 $L_{A_{ПИК}}$ (коммерческие и промышленные территории с включением жилой застройки)	Уровни для высокоскоростного Синкасена. Измеряются как средние по энергии для наиболее шумных 10 поездов, выбранных из прошедших 20 поездов в интервале с 06.00 до 24.00 (в режиме «slow»).
* $L_{A_{ЭКВ}}$ – норма для эквивалентного уровня звука, дБА ** $L_{A_{МАКС}}$ – норма для максимального уровня звука, дБА *** $L_{A_{ПИК}}$ – норма для пикового уровня звука, дБА			

Стоит отметить, что в российской нормативной базе бонус для шума железнодорожного транспорта все же существует, он приводится в ГОСТ Р ИСО 1996-1-2019 [27], ГОСТ Р 53187 [28], ГОСТ 23337 [29]. В соответствии с этими документами, при измерениях уровней шума следует применять коррекцию на категорию источника шума, для шума железнодорожного транспорта эта коррекция равна 3 – 6 дБА.

Из информации, представленной в таблице 1.2.2 можно сделать вывод, что санитарные нормы в России одни из самых жестких и, как следствие, наиболее труднодостижимые. В Российской Федерации целесообразно перенимать мировой опыт в части учета типа источника шума при нормировании и применении бонусов на восприятие шума человеком. Кроме того, можно принять во внимание опыт Австралии, где при наличии превышений уровней шума устанавливаются «промежуточные» нормативные значения, которые должны быть достигнуты в короткий срок и который являются менее жесткими, чем нормы, которые должны быть достигнуты на данной территории в перспективе. Такой подход позволяет быстрее достигнуть положительных результатов в решении проблемы снижения шума на селитебной территории.

### **1.3. Описание объектов исследования**

Объектами данного исследования являются железные дороги как источник шума и жилая застройка как зона распространения шума.

#### *1.3.1 Процессы шумообразования потоков железнодорожного транспорта*

Рассматривая процессы шумообразования потоков железнодорожного транспорта [30 – 34] следует выделять три основные группы: шум качения, корпусной шум (сюда же относится шум оборудования) и аэродинамический шум [35].

Шум качения — это шум, образующий в результате соударения в системе «колесо – рельс», превалирующий на скоростях от 60 до 300 км/ч. На шум качения влияют такие факторы как наличие шероховатости колеса и/или рельса и передаточная функция колеса и пути. Механизм образования шума заключается в том, что поверхностные неровности колеса и рельса при соприкосновении генерируют вибрацию, вследствие чего колесо и рельс начинают излучать звук. Вибрация колеса происходит в диапазоне 1600 Гц и выше, при этом оно вносит основной вклад в шум поезда на частоте от 2000 Гц до 4000 Гц. Излучение звука, при распространении вибрации вдоль рельса, происходит на частоте около 1000 Гц,

а излучение от шпал – на частотах до 400 Гц. [36] Чем более старые, изношенные колеса эксплуатируемого состава, тем выше будет уровень шума. В зависимости от шероховатости колеса разница в излучаемом уровне звука может достигать 10 дБА. На шероховатость колеса оказывает влияние тип используемых тормозов – шум, создаваемый колесами с колодочными тормозами, выше, чем шум колес с дисковыми и композитными тормозами. Аналогична ситуация с рельсами – чем более неровные рельсы, тем выше уровни шума качения. Влияние шероховатости рельс на уровень шума может достигать 8 дБА. В системе «колесо-рельс» также имеет место шума соударения, возникающий при резком увеличении контактного давления колеса и рельса, и, как следствие, появлению избыточной вибрации. Это происходит при наличии стыков на рельсах или плоских частей на колесе. Загруженность поезда также влияет на увеличение шума, загруженные поезда создают больший шум, чем незагруженные. Это связано с увеличением нагрузки на колесо, аналогичный эффект наблюдается при торможении поезда. Шум качения зависит от скорости поезда и возрастает с ее увеличением. Зависимость шума качения от скорости определяется как  $30 \lg V$ , где  $V$  – скорость поезда, км/ч. [37] На рисунке 1.3.1 показана зависимость шума качения от скорости. Акустический центр шума качения находится на высоте от 0 (вклад рельсов) до 0,5 (вклад колеса) м.

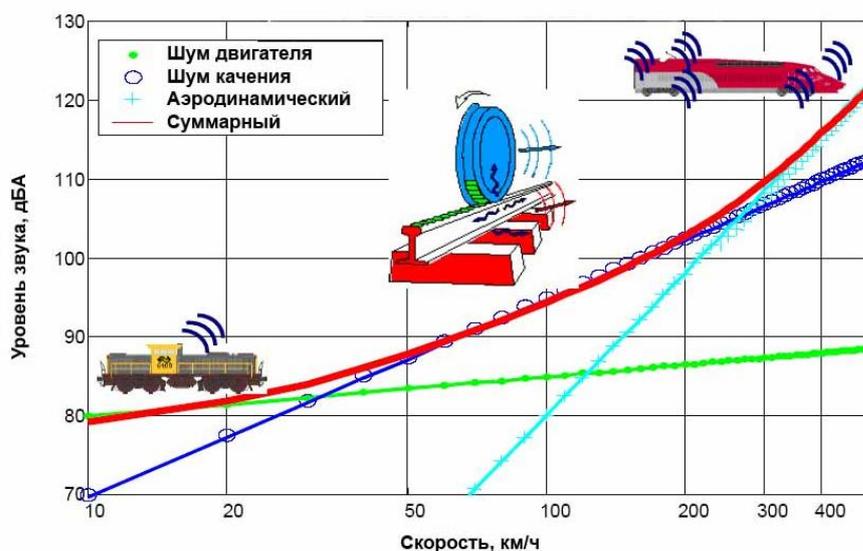


Рис. 1.3.1 Зависимость шума железнодорожного поезда от скорости [37]

Корпусной шум – это шум трансмиссии, систем вентиляции, компрессора, выхлопа и прочего оборудования, а также шум от дребезжания корпуса поезда. Он наблюдается при скорости поезда ниже 60 км/ч. На скоростях ниже 42 км/ч данный вид шума преобладает. Корпусной шум распределяется по всей высоте состава от 0,5 до 3-4 м. [37]

Аэродинамический шум – это шум, возникающий при обтекании поезда, идущего на высокой скорости потоками воздуха, который создается тележкой и крышей с пантографом. Аэродинамический шум является низкочастотным (до 500 Гц) [38]. Его зависимость от скорости выражается как  $60 \lg V$ , где  $V$  – скорость поезда, км/ч. Как видно из рисунка 1.3.1 аэродинамический шум превалирует на скоростях свыше 300 км/ч. Так как аэродинамический шум распределен между двумя источниками, каждый из них имеет свой акустический центр. Для шума, образующегося за счет обтекания тележки, он будет располагаться на высоте 0,5 – 0,8 м, а для шума пантографа – на высоте 4 – 5 м. [40]

Говоря о шуме подвижного состава отдельно можно отметить шум при прохождении кривых участков пути и шум при торможении. «Визг» колеса в кривых малого радиуса также относится к шуму качения. Основным источником шума в данном случае является колесо, а сам шум обусловлен взаимодействием гребня бандажа колеса с рельсом. Скрежет колеса при прохождении кривых участков может на 10 и более дБА превышать шум качения при прохождении данного поезда по прямому участку. Данный вид шума – высокочастотный, лежит в диапазоне от 500 до 8000 Гц. [39 - 43]

Шум тормозов излучается колесом и системой торможения и зависит от того, какая система торможения используется, дисковая или колодочная. Дисковая система торможения излучает шум при наложении собственных мод тормозного диска и тормозного механизма в процессе торможения с увеличением силы, прилагаемой к диску. Эта система торможения является менее шумной по сравнению с колодочной. При использовании колодочной системы торможения шум образуется при контакте рельса с колесом и колодки с колесом, при трении колодки о движущееся колесо. Использовании данной системы торможения также

приводит к образованию ползунов на поверхности колеса, что в свою очередь ведет к увеличению шума качения, что было описано выше. Блоки, используемые в колодочной системе, могут быть выполнены из композитных материалов или из чугуна, последние являются наиболее шумными. [37, 39, 44]

Железная дорога является линейным источником шума, шумовой характеристикой которого является эквивалентный и максимальный уровни звука. Для определения эквивалентного уровня звука потока поездов определяется уровень звука при проезде отдельного поезда каждой категории (пассажирский, грузовой, электропоезд, скоростной), затем уровень звука, создаваемый потоком поездов отдельной категории и уровень звука, создаваемый потоком всех поездов, следующих по участку. Железнодорожные линии классифицируются по скорости движения поездов, грузонапряженности, интенсивности движения, далее в работе будет представлена классификация железнодорожных линий по шумовой характеристике.

### *1.3.2 Описание различных типов застройки*

В данной работе рассматривается распространение шума в жилой застройке в зависимости от ее типа. Было выделено два основных типа застройки – городская и сельская. Под городской застройкой понимается средне- и многоэтажная жилая застройка из многоквартирных домов, характерная в основном для городов. Под сельской застройкой понимается малоэтажная жилая застройка из отдельно стоящих частных домов, характерная для пригородов и небольших поселений. Основными документами, регламентирующими планировку и застройку в городской и сельской местности, являются Градостроительный кодекс Российской Федерации [45], СП 42.13330.2016 [46].

Особенностью городской застройки является то, что многоэтажные дома выступают в роли экранирующих сооружений, препятствуя свободному распространению звука на территории. Эффект экранирования в таком случае зависит от расположения зданий по отношению к источнику шума и друг к другу [47]. Одной из основных характеристик застройки является ее плотность, то есть

отношение площади участков под зданиями к общей площади участка. Также застройка может характеризоваться пористостью. Данный параметр описывает наличие свободного пространства между зданиями и определяется через коэффициент наружных пространств, равный отношению наружных пространств к площади участка, и через отношение наружных и внутренних пространств в границах участка [48]. Существует несколько основных видов городской застройки: периметральная, строчная, точечная, сетчатая, ленточная и смешанная. [49]

Периметральная застройка представляет собой традиционный городской квартал, дома в котором располагаются вдоль красных линий по периметру границ межмагистральной территории. Как правило, фасады домов обращены в сторону источника шума, они выполняют функцию экранов и защищают стоящие позади дома и дворовые территории от шума, однако в таком случае первый эшелон зданий должен быть шумозащитным.

Строчная застройка характеризуется тем, что все дома на территории ориентированы одинаково, они могут быть как перпендикулярны, так и параллельны линейному источнику шума. Если здания перпендикулярны источнику шума, они не будут экранировать придомовую территорию, а в случае плотной застройки между домами будет возникать переотражение звука.

Точечная застройка – это застройка, состоящая из точечных домов, как правило она используется на сложном рельефе, при застройке небольших пустующих участков, при желании сохранить зеленые насаждения. При таком типе застройки шум практически не экранируется домами, а если застройка достаточно плотная может возникнуть переотражение шума между зданиями.

Сетчатая застройка состоит из домов сложной формы (Т-образных, П-образных, крестообразных, треугольных, шестиугольных), в плане образующих сетки. Во внутренних дворах таких домов целесообразно устраивать зоны отдыха, детские площадки, так как эта территория хорошо защищена от воздействия шума самим домом.

Ленточный тип застройки это такая застройка, при которой вдоль улиц, железных дорог, перепадов рельефа располагаются длинные дома, которые могут быть как прямыми, так и сложной формы. Этот вариант застройки в плане распространения в нем шума похож на квартальную или строчную застройку, с той разницей, что в них шум распространяется вглубь застройки через разрывы в зданиях, а в случае ленточной – территория огорожена от воздействия шума полностью.

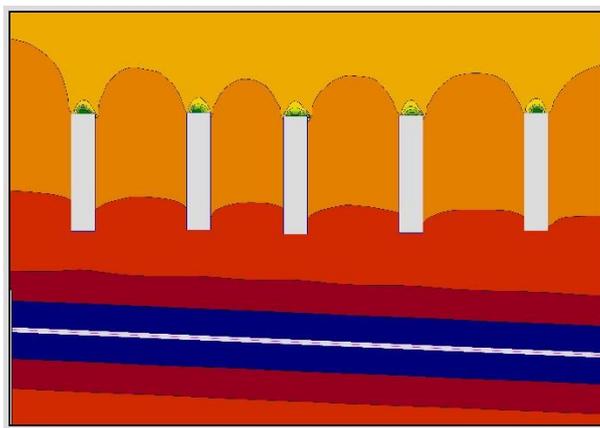
Смешанная застройка может представлять собой комбинацию различных типов зданий, оптимально расположенных с точки зрения соблюдения санитарно-гигиенических требования (в том числе по шуму).

В зависимости от типа застройки шум в ней распространяется по-разному. На рисунке 1.3.2 показано распространение звука в различных типах городской застройки.

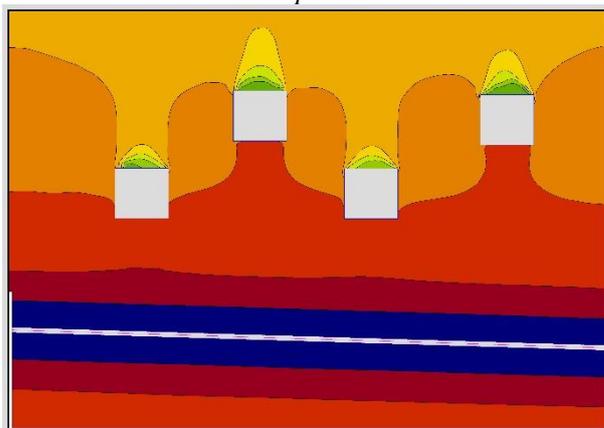
В случае расположения жилой застройки вблизи железной дороги существует еще одна особенность, связанная с тем, что в зоне санитарного разрыва часто располагаются гаражные массивы или другие подсобные здания. В таком случае они также часто играют роль экранирующих сооружений и способствуют снижению шума на селитебной территории. Однако это работает только в случае, если они имеют достаточную протяженность или стоят достаточно близко друг к другу. Пример показан на рисунке 1.3.3.



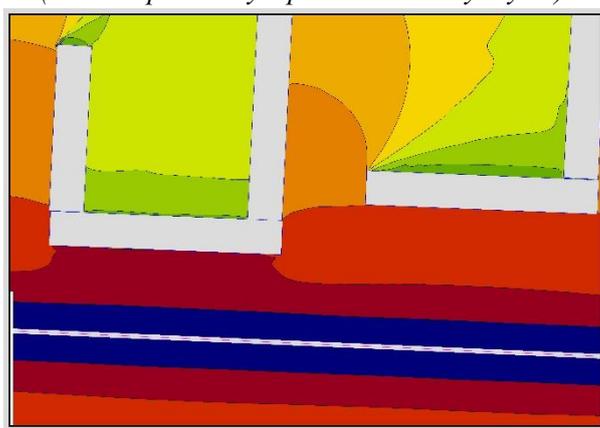
*Распространение шума в периметральной застройке*



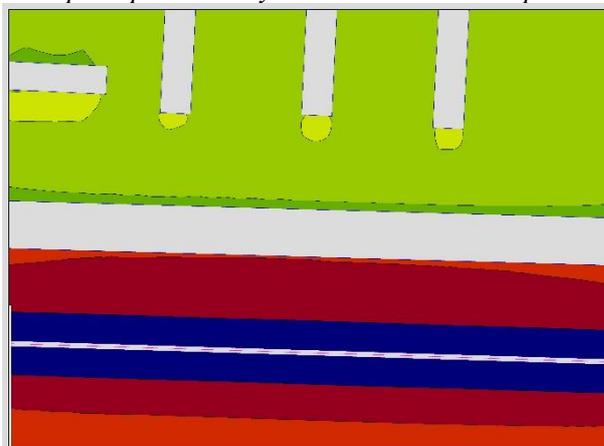
*Распространение шума в строчной застройке (дома перпендикулярны источнику шума)*



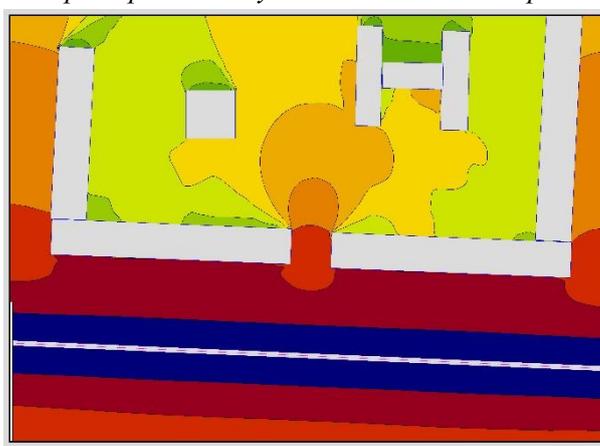
*Распространение шума в точечной застройке*



*Распространение шума в сетчатой застройке*

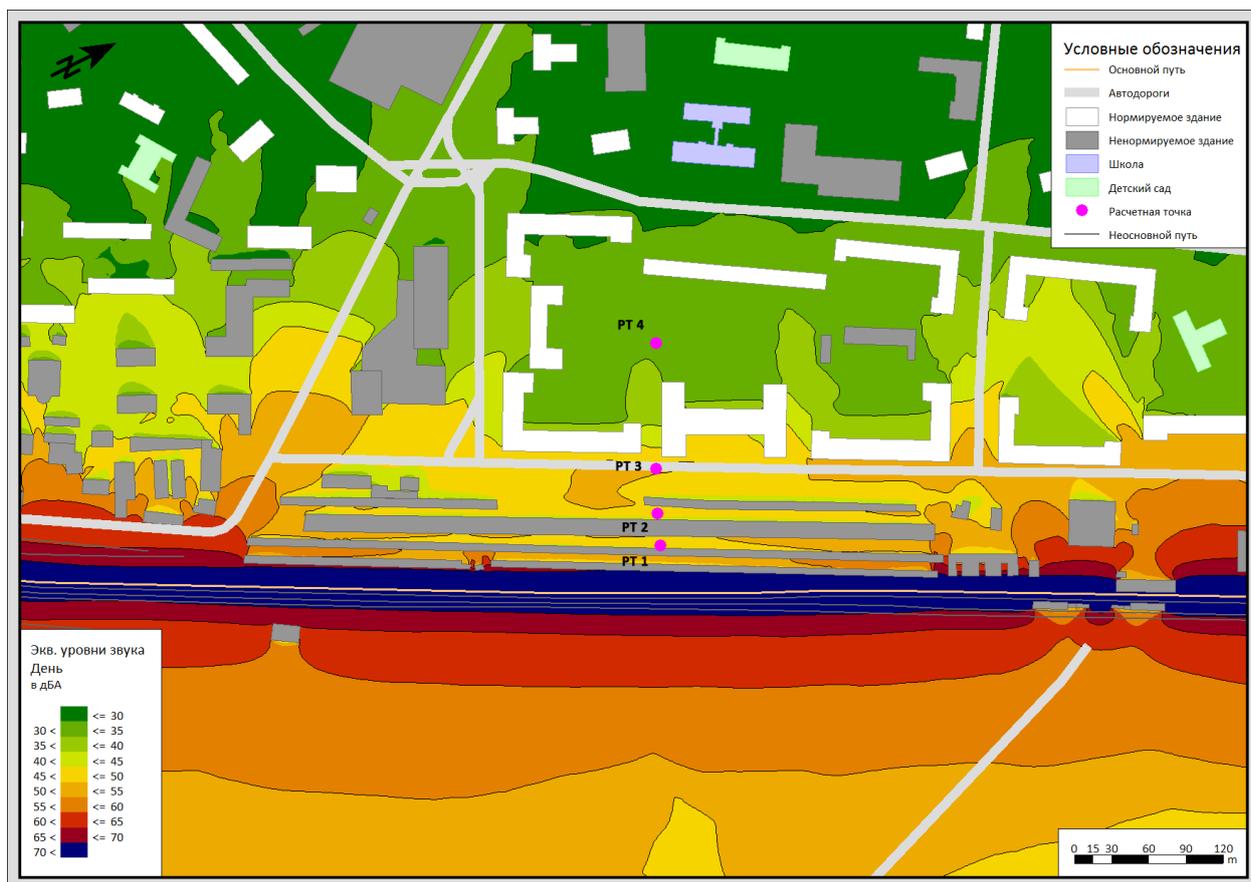


*Распространение шума в ленточной застройке*



*Распространение шума в смешанной застройке*

**Рис. 1.3.2** Распространение шума в различных типах городской застройки

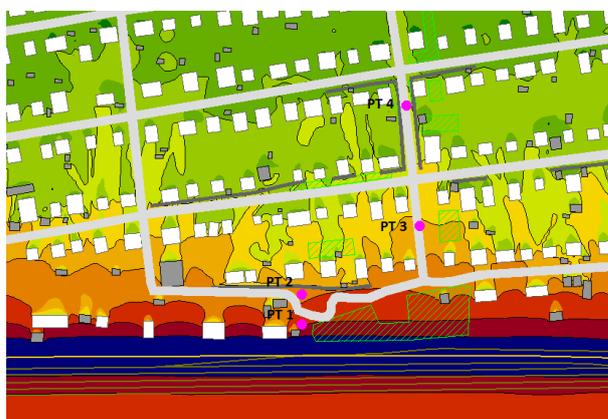


*Рис. 1.3.3* Карта шума вблизи ст. Маленковская (пример экранирования шума гаражными массивами)

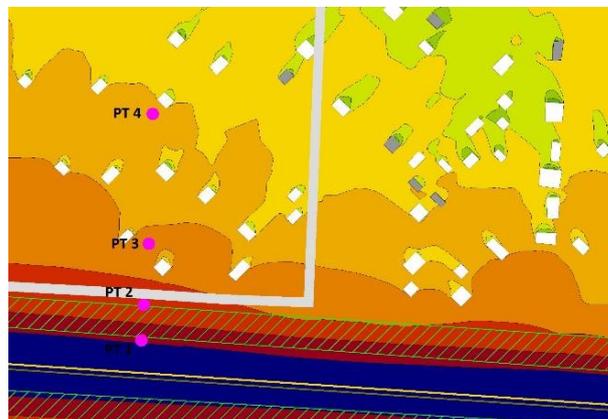
Особенностью сельской застройки являются малоэтажные (1 – 2 этажные) жилые дома с участками земли, часто огороженные заборами, на которых могут располагаться различные постройки. Постройки могут быть расположены как вплотную к жилому дому, создавая единый массив построек, так и хаотично по всему участку. Также возможен вариант, когда постройки расположены по периметру участка, огораживая его. [51, 52]

По результатам наблюдений, сделанных в процессе исследования, сельскую застройку можно поделить на два типа. К первому типу относится застройка, встречающаяся преимущественно в СНТ. Она представляет собой расположенные вплотную друг к другу участки правильной геометрической формы вдоль узких улиц. Как правило такие участки огорожены заборами и постройками со всех сторон. Второй тип представляет собой хаотично расположенные дома на участках разного размера и формы, как правило они расположены далеко друг от друга. На рисунке 1.3.4 показано распространение шума в застройке различных типов. Как

видно из представленных на рисунке 1.3.4 карт шума распространение звука в различных типах застройки происходит по-разному. При хаотичном расположении жилых домов на большом расстоянии друг от друга эффект экранирования практически отсутствует и область сверхнормативного воздействия шума больше, чем на территориях с более плотной «линейной» застройкой.



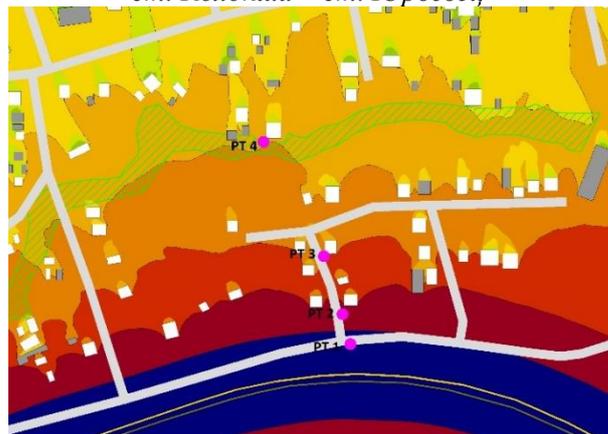
*Распространение шума на территории вблизи ст. Толоконцево*



*Распространение шума на территории вблизи ст. Колокша – ст. Юрьевец*



*Распространение шума на территории вблизи ст. ЗИП*



*Распространение шума на территории вблизи ст. Варениковская*

**Рис. 1.3.4** Распространение шума в различных типах сельской застройки

Еще одной характерной особенностью сельской местности является наличие большого количества зеленых насаждений и мягкая подстилающая поверхность ввиду отсутствия асфальтированной территории. По сравнению с городской территорией, жилая застройка в сельской местности практически никогда не отделяется от железной дороги рядами гаражей или подсобных зданий, от источника шума к первому эшелону жилых домов звук распространяется в свободном пространстве, за исключением тех случаев, когда между железной дорогой и застройкой есть густые зеленые насаждения.

Целью данной работы является выявление типовых, с точки зрения распространения шума, массивов зданий в городской и сельской застройке и разработка расчетной модели распространения шума в этих массивах, а также разработка расчетных формул для расчета затухания звука в данных расчетных схемах. Кроме того, в качестве результатов работы будут даны рекомендации по размещению жилой застройки на территориях вдоль существующих железных дорог.

#### **1.4. Распространение шума в застройке**

Расчет затухания звука при распространении на местности может выполняться по расчетным методикам ГОСТ 31295.2-2005 [53] (данная методика соответствует международной методике расчета ИСО 9613-2:1996), СП 276.1325800.2016 [54] и ГОСТ 33325-2015 [55]. Каждая из методик учитывает поправку на затухание звука в условиях застройки.

В соответствии с ГОСТ 31295.2-2005 затухание звука при распространении в условиях застройки,  $A_{\text{hous}}$ , определяется по формуле:

$$A_{\text{hous}} = A_{\text{hous1}} + A_{\text{hous2}} \quad (1.1)$$

$A_{\text{hous1}}$  определяется по формуле:

$$A_{\text{hous1}} = 0,1Bd_b, \quad (1.2)$$

где  $B$  – плотность застройки вдоль траектории распространения звука (соотношение площади участков территории под домами к общей площади жилого массива);

$d_b$  – длина траектории распространения звука через просветы между домами.

Если застройка вдоль дороги расположена плотными рядами, может быть учтено дополнительное затухание  $A_{\text{hous2}}$ . Величина  $A_{\text{hous2}}$  не должна превышать величину потерь, вносимых домами как экранами, в той же точке, если высоту экрана принять равной средней высоте домов. Данное затухание определяется по формуле:

$$A_{\text{hous2}} = 10\lg(1 - (p/100)), \quad (1.3)$$

где  $p$  – отношение длины фасадов домов к длине автомобильной или железной дороги вдоль них ( $>90\%$ ).

Однако, при переводе ISO 9613-2 [56] и переносе формулы 1.3 в ГОСТ, было допущено две ошибки, во-первых, был потерян знак «минус» перед формулой, во-вторых, значение  $p$ , обозначенное в ГОСТе как отношение на самом деле является процентным отношением. Таким образом, данная формула должна выглядеть следующим образом:

$$A_{\text{hous2}} = -10\lg(1 - (p/100)), \quad (1.4)$$

где  $p$  – процентное отношение длины фасадов домов к длине автомобильной или железной дороги вдоль них ( $>90\%$ ).

Методика расчета ГОСТ 31295.2-2005 реализована в различных программных средствах, таких как АРМ «Акустика», «Эколог-Шум», и SoundPLAN.

По методике СП 276.1325800.2016 коррекция на снижение звука в придорожной застройке определяется в соответствии с эмпирическими данными, представленными в виде таблицы, и зависит от размеров разрывов между домами на линии застройки и расстояний между линиями застройки.

ГОСТ 33325-2015 в части определения снижения звука в застройке ссылается на ГОСТ 31295.2-2005.

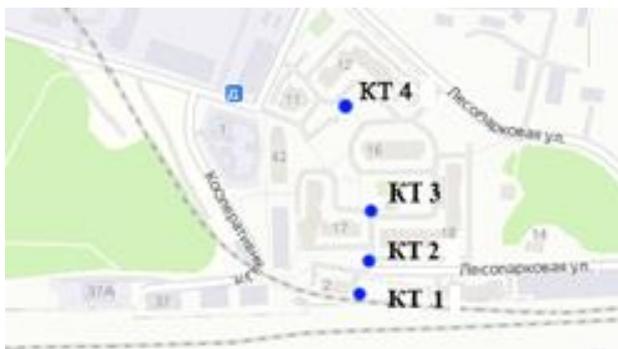
Таким образом существует две различные методики определения поправки на снижение звука в жилом массиве. Для сравнения данных методик были проведены расчеты снижения звука в разных типах застройки по обеим методикам и проведено сравнение результатов расчета с результатами, полученными экспериментально. Снижения уровней звука определялись путем вычитания значения уровня звука в точке, находящейся дальше от источника шума, из значения уровня звука в точке, находящейся ближе к источнику. В качестве критерия соответствия значений, полученных расчетным путем, значениям, полученным экспериментально, принимается разница между данными значениями. Сходимость результатов эксперимента с результатами расчета считается хорошей, если разница между этими значениями не превышает 2 дБА. [57, 58]

В ходе проведения эксперимента были выполнены измерения эквивалентных и максимальных уровней звука в жилых массивах. Измерения проводились в соответствии с ГОСТ 23337-2014 [59] на расстоянии 25 м, 50 м, 100 м и 200 м от железной дороги, кроме того, в соответствии с ГОСТ 20444-2014 [60] были определены шумовые характеристики потоков железнодорожного транспорта. Измерения проводились в следующих типах жилой застройки: городской многоэтажной и сельской малоэтажной.

В качестве примера участков с городским типом застройки рассматривались четыре участка: пос. Железнодорожный, ст. Лосиноостровская, ст. Столбовая и ст. Путепровод. Участки характеризуются многоэтажными жилыми домами, вблизи железной дороги располагаются невысокие здания и сооружения. На участке ст. Столбовая жилые дома расположены параллельно железнодорожным путям. На участке ст. Лосиноостровская низких зданий и сооружений вблизи железной дороги нет, однако вдоль путей, на расстоянии 100 м от них располагается здание длиной 430 м, имеющее по центру арку.

В качестве примеров сельской застройки были рассмотрены: ст. Кубинка, ст. ЗИП, СНТ Клязьма и ст. Варениковская. Для всех участков характерна малоэтажная частная застройка, однако плотность застройки на различных участках разная. Наибольшее расстояние между домами в СНТ Клязьма, а наиболее плотная застройка на ст. ЗИП.

На схеме 1.4.1. показано расположение контрольных точек на территории застройки на разных участках.



*пос. Железнодорожный*



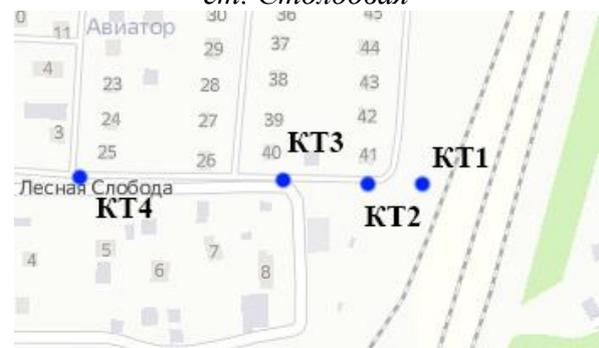
*ст. Лосиноостровская*



*ст. Столбовая*



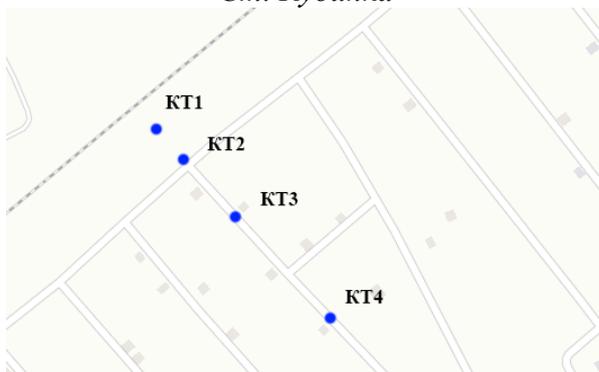
*ст. Путепровод*



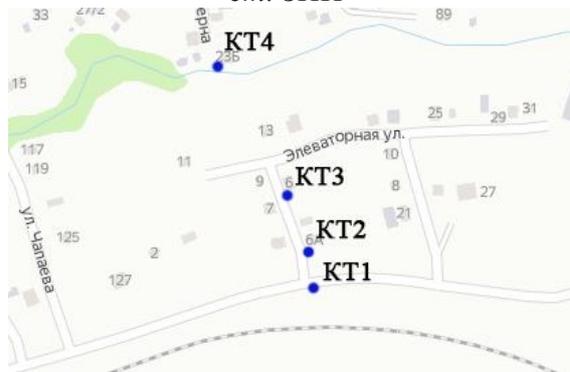
*Ст. Кубинка*



*ст. ЗИП*



*СНТ Клязьма*



*ст. Варениковская*

*Рис. 1.4.1. Схема расположения контрольных точек*

В таблице 1.4.1. приведены результаты расчета снижения уровней звука по различным методикам и при помощи различных программных средств.

Карты шума для рассматриваемых участков, построенные в различных программах, приведены в Приложении 1.

Таблица 1.4.1. Снижения уровней звука на различных участках

Участок	Расстояние, м	Снижение уровня звука, дБА					
		Эксперимент	SoundPLAN	АРМ Акустика	Эколог Шум	ГОСТ 31295.2	СП 276.1325800.2016
Городская застройка							
пос. Железнодорожный	25 – 50	6,7	5,4	4,2	5,2	4,7	2,3
	50 – 100	4,3	6,7	4,1	6,6	4,5	4,2
	100 – 200	7,9	10,3	7,4	12,4	5,8	4,0
ст. Лосиноостровская	25 – 50	4,5	5,3	6,9	1,6	5,9	6,8
	50 – 100	3,2	3,3	2,5	1,8	5,2	4,2
	100 – 200	20,3	21	17,9	13,7	5,7	9,4
ст. Столбовая	25 – 50	6,0	5,8	4,3	2,9	4,7	2,3
	50 – 100	6,4	6,0	4,4	4,5	4,2	3,2
	100 – 200	14,5	14,3	11,4	15,1	7,9	7,0
ст. Путепровод	25 – 50	8,9	11,2	7,9	7,0	6,6	6,3
	50 – 100	8,9	8,8	8,5	8,4	4,3	3,2
	100 – 200	-	12,9	14,3	9,2	6,8	4,0
Сельская застройка							
ст. Кубинка	25 – 50	7,2	5,6	4,8	2,8	4,2	2,3
	50 – 100	9,6	7,2	8,0	4,3	4,2	6,2
	100 – 200	10,2	8,0	3,7	10,1	5,3	4,0
ст. ЗИП	25 – 50	5,9	6,7	5,5	4,0	7,3	3,5
	50 – 100	6,4	8,8	5,8	11,1	4,4	6,6
	100 – 200	7,5	6,8	4,5	5,7	5,8	4,2
СНТ Клязьма	25 – 50	9,9	7,5	6,7	5,7	5,2	5,2
	50 – 100	5,5	5,3	5,8	2,3	3,8	3,2
	100 – 200	6,0	6	3,5	2,9	5,8	5,0
ст. Варениковская	25 – 50	6,1	5,9	3,1	1,1	5,5	3,5
	50 – 100	9,4	8,2	8,3	4,1	4,9	4,6
	100 – 200	5,0	4,9	3,8	4,7	4,6	4,2

На рисунках 1.4.2 – 1.4.7 представлены графики, на которых показано сравнение затуханий звука на различных участках на одних и тех же расстояниях.

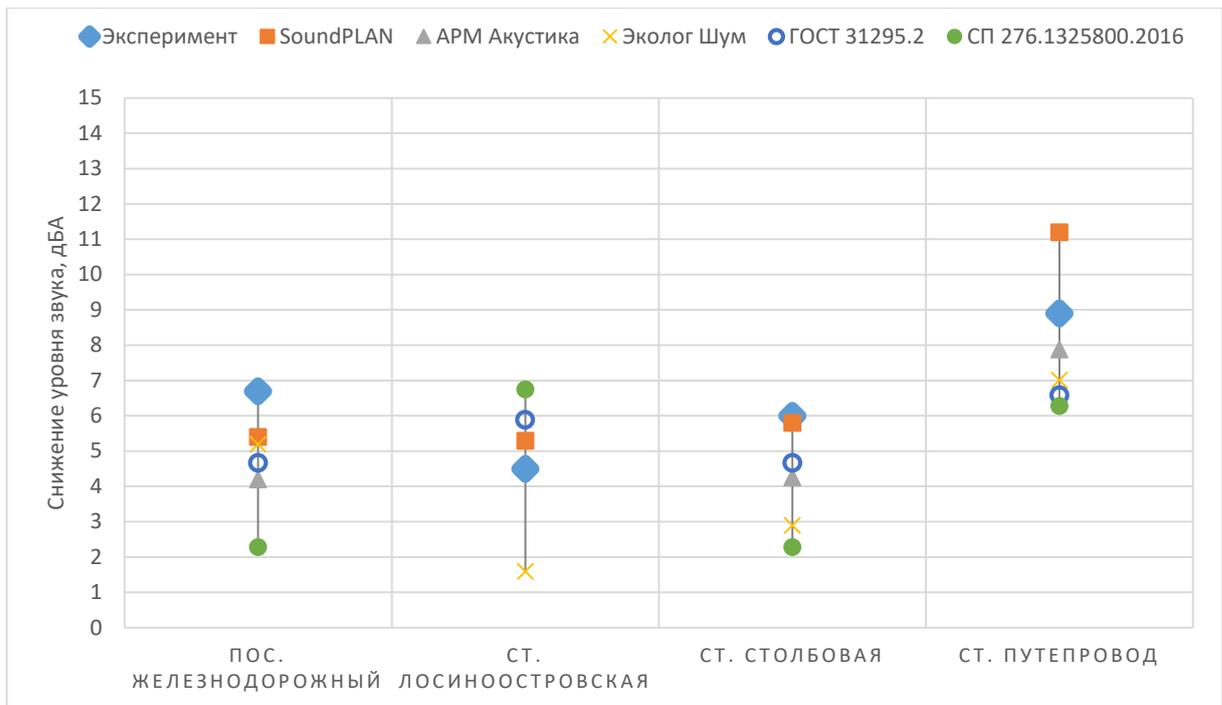


Рис. 1.4.2. Сравнение результатов расчетов и измерений при затухании звука с 25 м до 50 м в условиях городской застройки

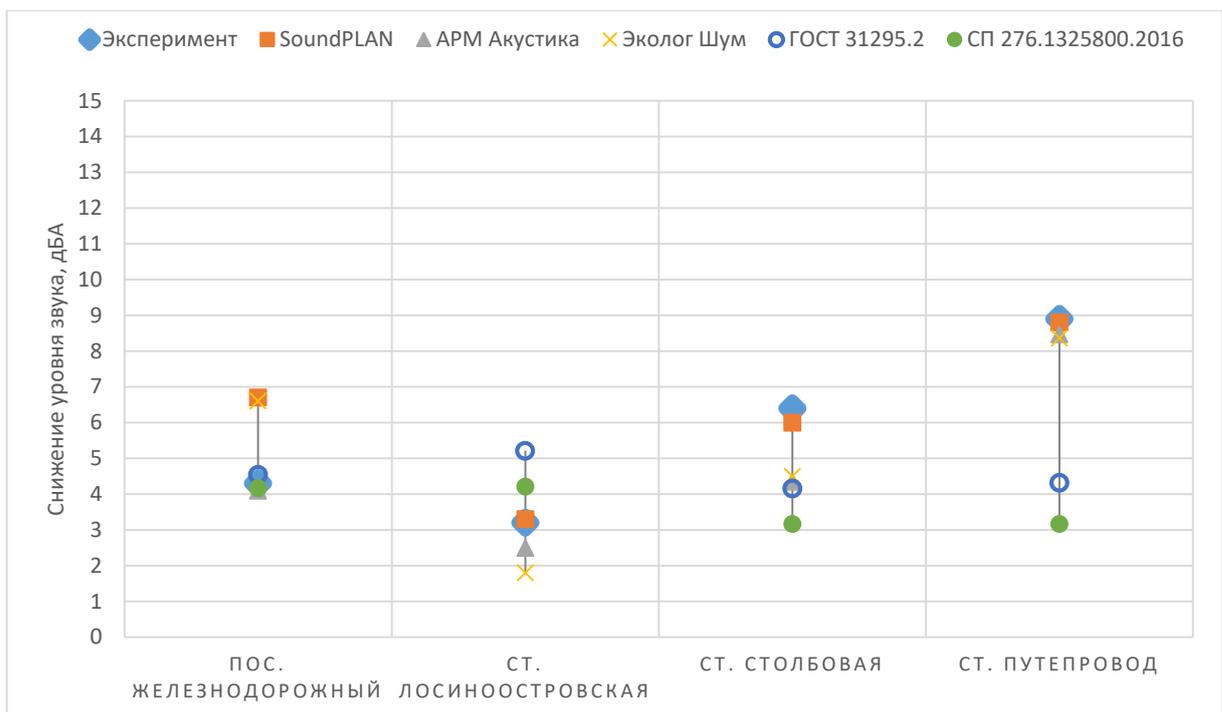


Рис. 1.4.3. Сравнение результатов расчетов и измерений при затухании звука с 50 м до 100 м в условиях городской застройки

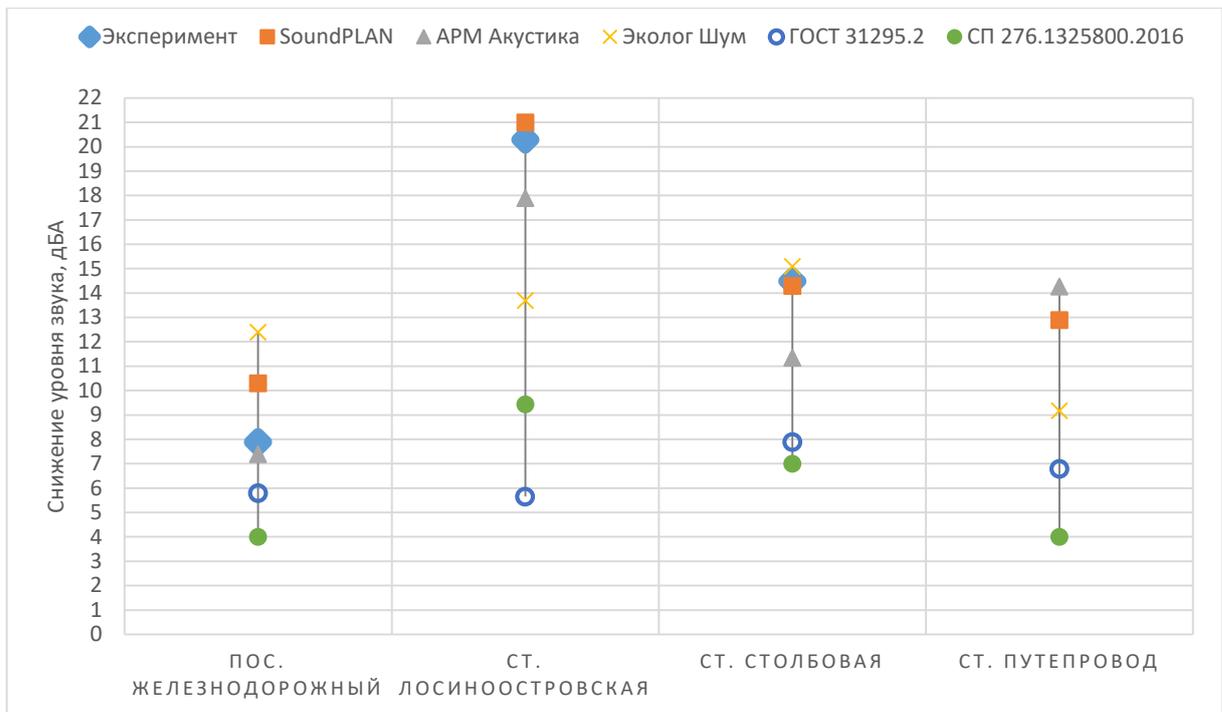


Рис. 1.4.4. Сравнение результатов расчетов и измерений при затухании звука с 100 м до 200 м в условиях городской застройки

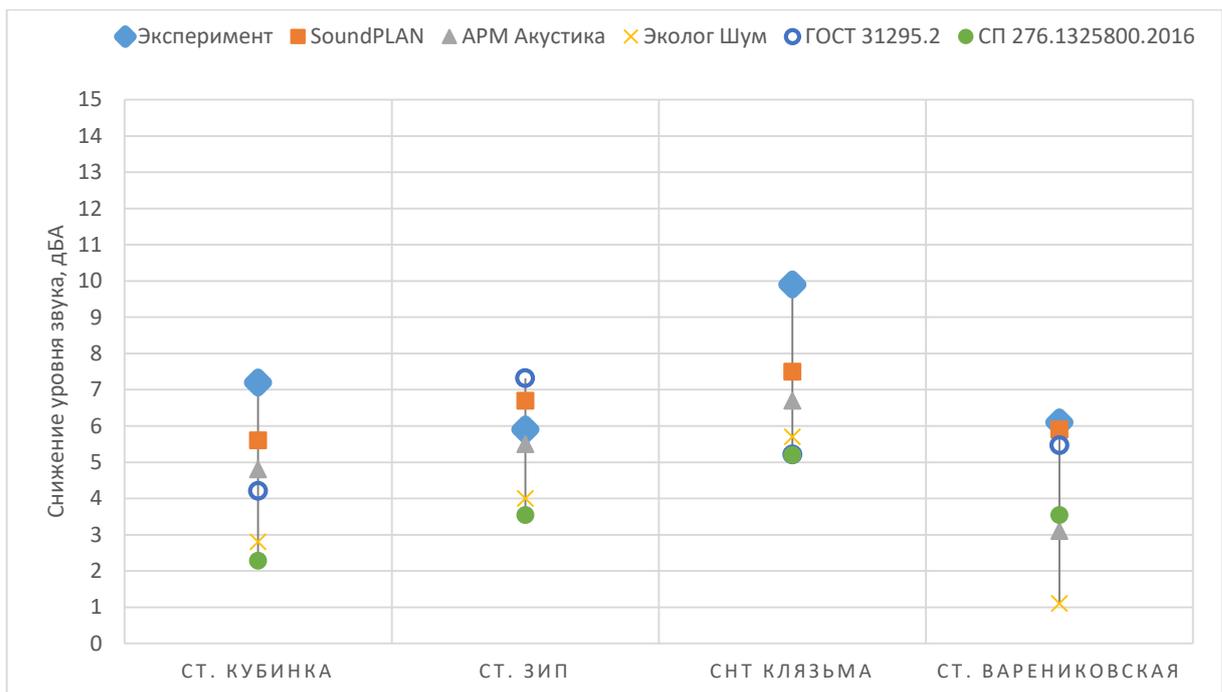


Рис. 1.4.5. Сравнение результатов расчетов и измерений при затухании звука с 25 м до 50 м в условиях сельской застройки

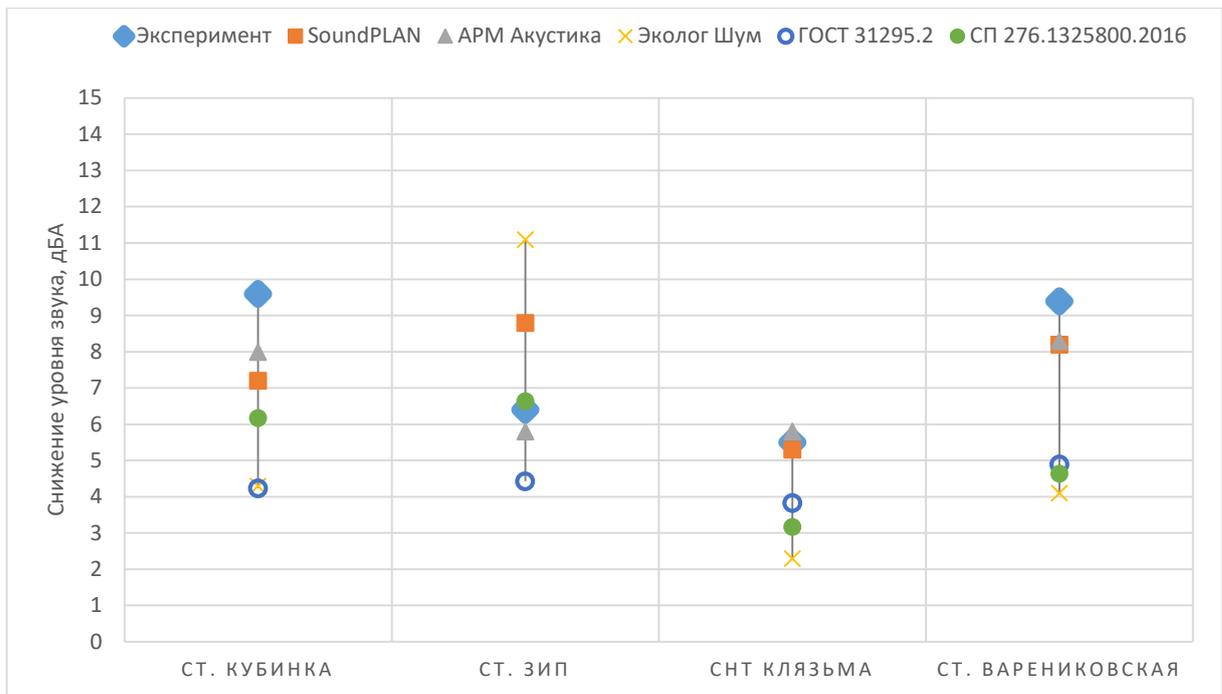


Рис. 1.4.6. Сравнение результатов расчетов и измерений при затухании звука с 50 м до 100 м в условиях сельской застройки

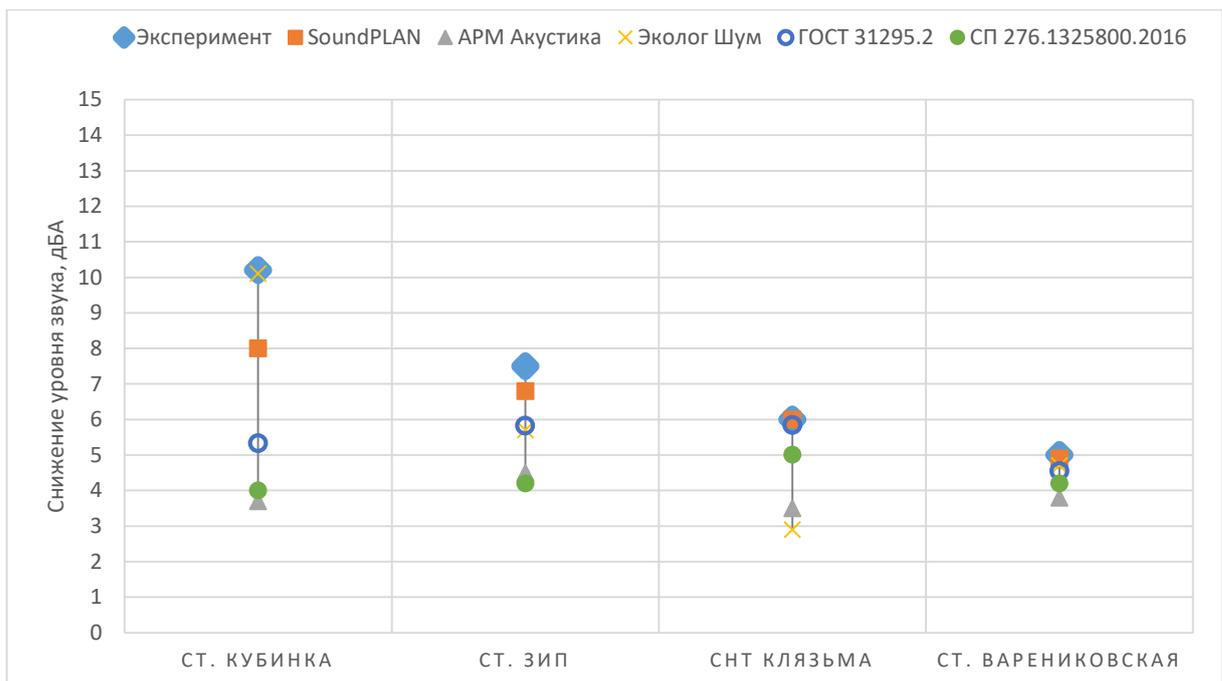


Рис. 1.4.7. Сравнение результатов расчетов и измерений при затухании звука с 100 м до 200 м в условиях сельской застройки

По графикам, представленным на рисунках 1.4.2 - 1.4.7 можно увидеть, что затухания звука, при распространении от 25 м до 50 м, полученные путем проведения ручных расчетов по методике СП 276, оказались ниже экспериментальных значений во всех случаях, кроме участка вблизи

ст. Лосиноостровская, где на затухание не влияли близко расположенные сооружения. В остальных случаях на снижение звука при распространении от 25 м до 50 м оказали влияние невысокие здания и сооружения, расположенные справа и слева от контрольных точек.

Помимо этого, большая разница между расчетом и экспериментом наблюдается на участке СНТ Клязьма, где затухание звука обусловлено в том числе снижением шума в зеленых насаждениях.

Значения снижения уровня звука, при распространении от 50 м до 100 м, определенные по методике СП 276, показали заниженные значения в двух случаях из четырех в условиях городской застройки (ст. Столбовая и ст. Путепровод) и в двух случаях из четырех в условиях сельской застройки (ст. Кубинка и ст. Варениковская). На участках с городской застройкой снижение шума было обусловлено в том числе, наличием низких зданий, расположенных рядом с контрольными точками. В случае, со ст. Железнодорожной, методика СП 276 показала результат, аналогичный, результатам измерения, в данном случае контрольные точки на расстоянии 50 м и 100 м находились в прямой видимости, через просвет между многоэтажными домами. В случае с сельской застройкой, следует отметить, что на двух участках, где была выявлена хорошая сходимости экспериментальных данных с расчетными особенностью застройки заключается в том, что в СНТ Клязьма дома расположены очень далеко друг от друга, а на участке ст. ЗИП застройка, напротив, плотная, и образует четкие «линии» улиц, в связи с чем контрольные точки располагались на одной линии, в прямой видимости друг с другом и источником шума.

Затухания звука, при распространении от 100 м до 200 м, полученные путем проведения ручных расчетов по методике СП 276, не показали заниженных результатов лишь на двух участках сельской застройки, где застройка очень редкая и не оказывает значительного влияния на распространение звука.

При ручном расчете по ГОСТ 31295.2 снижения уровней звука, при распространении от 25 м до 50 м оказались заниженными лишь на двух участках сельской застройки (ст. Кубинка и ст. СНТ Клязьма).

Затухания звука при распространении от 50 м до 100 м, при расчете по методике ГОСТ 31295.2 в условиях городской застройки оказались занижены только на участке ст. Путепровод, где контрольные точки 2 и 3 находятся не в зоне прямой видимости. В условиях сельской застройки данный расчет показал результаты, аналогичные результатам методики СП 276.

Затухания звука при распространении со 100 м до 200 м, полученные путем проведения ручных расчетов по методике ГОСТ 31295.2, оказались заниженными на всех участках с городской застройкой, и на одном участке с сельской застройкой (ст. Кубинка).

Следует отметить, что на участке ст. Кубинка все расчетные методики и программные средства показали значения ниже экспериментальных. Особенностью данного участка является то, что участок железной дороги там криволинейный и «огibaет» массив застройки в котором были расположены расчетные точки.

Проанализировав результаты различных методик в разных типах застройки и сравнив различные расчетные методики можно сделать следующие выводы:

- расчетная методика СП 276.1325800.2016 дает заниженные результаты снижения шума в условиях городской застройки различных типов, а также в условиях плотной сельской застройки;
- расчетная методика ГОСТ 31295.2 при проведении ручных расчетов дает заниженные значения результатов расчета снижения шума в условиях плотной многоэтажной застройки, при наличии зданий, обращенных фасадами к источнику шума, а также в условиях плотной сельской застройки;
- расчеты снижения шума в городской застройке в программе АРМ Акустика в целом показали хорошую сходимость с результатами эксперимента, в случае с сельской застройкой результаты расчета снижения шума в некоторых случаях получились несколько заниженными;
- результаты расчета снижения шума в застройке, полученные в программе Эколог Шум, в большинстве случаев дают заниженный результат;

- результаты расчетов в программе SoundPLAN показали хорошую сходимость с результатами расчета;
- снижение шума в городской застройке различно и зависит от типов зданий и их расположения по отношению к источнику шума;
- снижение шума в сельской застройке, представленной малоэтажными домами, зависит от плотности застройки и расположения домов по отношению друг к другу.

Таким образом, ни одна из применяемых методик расчета снижения шума в жилых массивах не дала удовлетворительных результатов ни в условиях сельской, ни в условиях городской застройки. Существующие расчетные методики требуют уточнения.

В своей диссертации «Разработка научных и методических основ картирования шума транспорта на территории городской застройки» [36] М.В. Буторина выводит формулы для расчета снижения шума в застройке с различными типами зданий и приводит результаты расчетов и измерений в применении к потоку автомобильного транспорта.

По формулам, предложенным Буториной М.В., были проведены расчеты для потоков железнодорожного транспорта для аналогичных типов городской застройки. Результаты расчета представлены в таблице 1.4.2 и на графике 1.4.9.

*Таблица 1.4.2.* Снижение уровней звука в различных вариантах городской застройки

Источник шума	Описание схемы	Расчетная точка	Результаты расчета, дБА	Результаты измерений, дБА
Автодорога	Разрыв между зданиями	1	58	58
		2	56	56
		Снижение УЗ	2	2
	Проем между параллельными зданиями	1	58	58
		2	47	50
		Снижение УЗ	11	8
	Дифракция высокого порядка за параллельными зданиями	1	65	65
		2	40	43
		Снижение УЗ	26	22
Железная дорога	Разрыв между зданиями	1	65	65
		2	53	54
		Снижение УЗ	12	11
		1	65	65

Источник шума	Описание схемы	Расчетная точка	Результаты расчета, дБА	Результаты измерений, дБА
	Проем между параллельными зданиями	2	54	54
		Снижение УЗ	11	11
	Дифракция высокого порядка за параллельными зданиями	1	68	68
		2	53	54
		Снижение УЗ	16	15

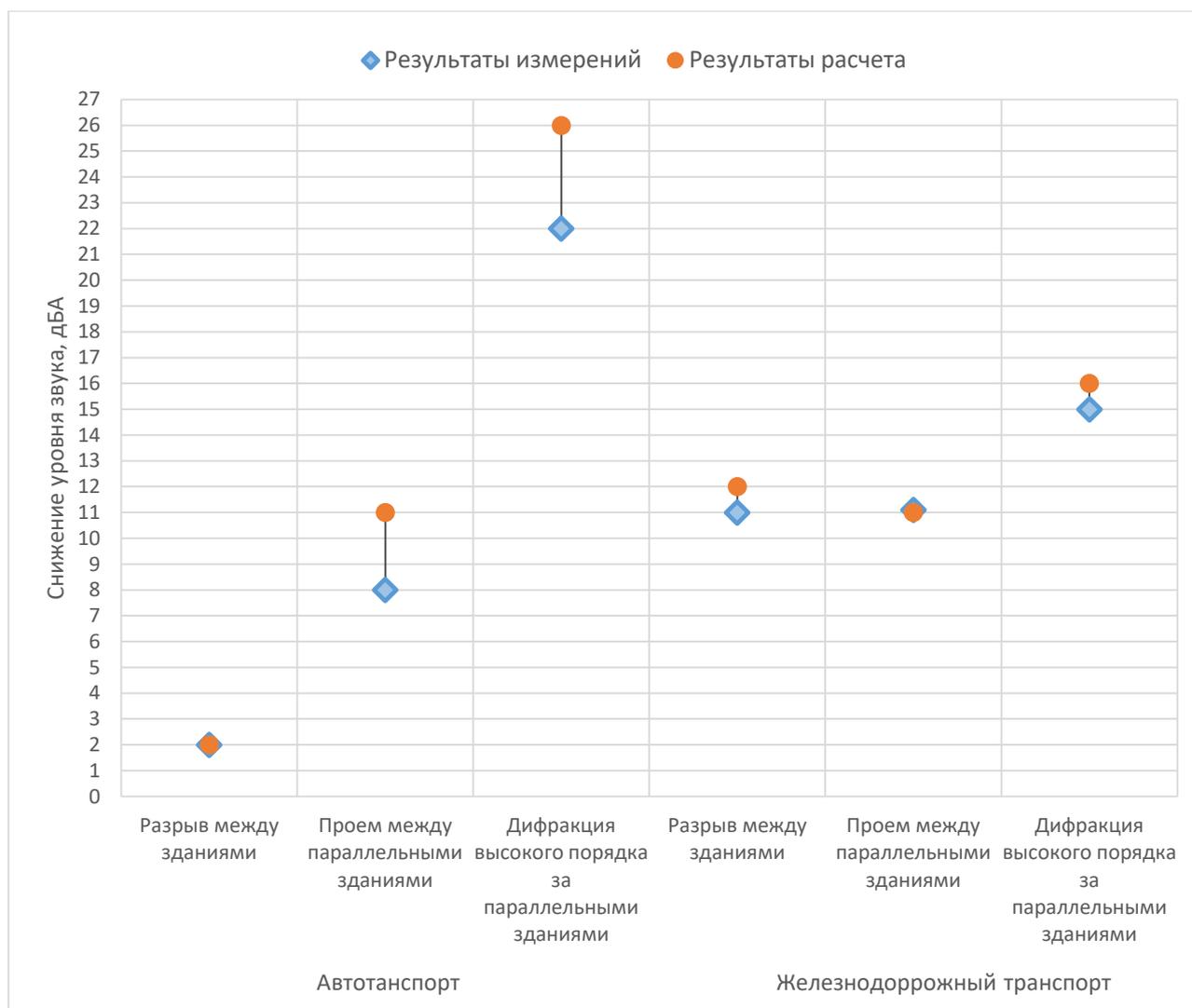


Рис. 1.4.9. Сравнение результатов расчета и результатов измерения снижения шума в застройке

Исходя из результатов расчета можно сделать вывод, что значения, полученные теоретически, с использованием расчетных формул, совпали с результатами эксперимента с разницей до 2-3 дБА. Если сравнить результаты расчетов снижения шума автотранспорта и железнодорожного транспорта, то

можно увидеть, что значения при одних и тех же условиях застройки значительно различаются для разных источников шума.

В случае с сельской застройкой наиболее типичными случаями снижения шума является снижение шума за точечным зданием и снижение шума в разрывах между зданиями, стоящими в ряд. Анализ формул, предложенных Буториной М.В. и условий распространения шума в сельской застройке показывает, что данные формулы для оценки снижения шума в сельской застройке неприменимы, поскольку сельские здания зачастую не соответствуют граничным условиям для проведения расчета.

Для дифракции звука за точечным зданием М.В. Буторина рассматривает формулы, для которых должно соблюдаться условие  $h > 2l$ , где  $h$  – высота здания, а  $l$  – длина здания. В типичной сельской застройке большинство домов имеют высоту 2 – 3 этажа, а длину и ширину приблизительно 10 метров, поэтому условие расчетов не соблюдается и формулы дифракции за точечное здание не могут быть использованы в случае небольших частных домов. Формулы же для протяженных зданий не могут быть использованы в таких случаях, так как в них не учитывается дифракция на боковых торцах здания. Так, результаты расчета с применением предложенных формул показывают, что снижение уровня звука за зданием, полученное теоретически, равно 16 дБА, а экспериментально – 10 дБА. Разница в 6 дБА говорит о том, что результаты расчета не подтверждаются измерениями.

Как было описано выше еще одним типичным случаем распространения шума в застройке сельского типа является распространение шума между рядами плотно стоящих домов (часто, окруженных заборами).

Для расчета снижения шума в подобном массиве домов не подходят формулы, предложенные для оценки дифракции звука в проемах между зданиями, так как эти формулы были разработаны для протяженных зданий, для которых не учитывается дифракция на боковых торцах. Однако снижение звука в застройке данного типа необходимо учитывать, как показывают результаты измерений, проведенных на различных участках железных дорог в прилегающей сельской застройке, оно составляет от 6 до 10 дБА.

Стоит также отметить, что существующие методы расчета весьма сложны, требуют больших затрат времени и трудовых ресурсов, а также знания многих параметров, которые довольно сложно учесть.

Учитывая все вышеизложенное, необходимо разработать формулы, позволяющие достаточно просто оценить снижение шума в застройке, которые бы учитывали специфику как источника шума (железнодорожной), так и особенности малоэтажной застройки.

## ***1.5. Разработка мероприятий по снижению шума железнодорожного транспорта***

### *1.5.1 Санитарные разрывы*

Одним из основных мероприятий по предотвращению негативного акустического воздействия на селитебную территорию является установление санитарных разрывов [61, 62]. В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [61] размер зоны санитарного разрыва определяется по результатам расчетов негативного воздействия на окружающую среду и равен расстоянию на котором это воздействие не превышает гигиенических нормативов. СП 42.13330-2016 [46] содержит схожую формулировку, а также указывает на то, что зоны отдыха следует размещать на расстоянии не менее 500 м от железной дороги. «Правила и нормы технической эксплуатации жилищного фонда» устанавливают более точные размеры санитарного разрыва. В соответствии с п. 4.10.4.5 «Жилая застройка должна быть отделена от железнодорожной линии и станции защитной зоной шириной не менее 200 м; для железнодорожных линий I и II категорий - не менее 150 м; для железнодорожных линий III и IV категорий - не менее 100 м от станционных путей, считая от оси крайнего железнодорожного пути». [64] Однако, при применении шумозащитных мероприятий (шумозащитных экранов или выемок [65]) размер разрыва можно уменьшить, но не более, чем 50 м.

Расчеты, выполненные в соответствии с ГОСТ 33325-2015 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом»

[55], показывают, что в условиях отсутствия экранирующих сооружений на пути распространения звука от железнодорожного пути зона акустического дискомфорта составляет:

- скоростная железнодорожная линия – 1300 м;
- пассажирская железнодорожная линия – 1600 м;
- особогрузонапряженная железнодорожная линия – 1400 м;
- железнодорожная линия I категории – 1000 м;
- железнодорожная линия II категории – 800 м;
- железнодорожная линия III категории – 600 м;
- железнодорожная линия IV категории – 400 м.

За зону акустического дискомфорта в данном случае принимается зона, в которой уровни звука превышают ПДУ для ночного времени, а категории железных дорог указаны в соответствии с СП 119.13330.2024 [66].

Фактический размер санитарного разрыва от конкретного участка железной дороги определяется путем построения карт шума в соответствии с ГОСТ Р 56394-2015 [67], при помощи программного обеспечения, реализующего методики и отмечающего требованиям СП 51.13330.2011 [68], ГОСТ 31295.2-2005, ГОСТ 33325-2015, ГОСТ Р 56394-2015, ГОСТ Р 56234.1-2019, СП 276.1325800.2016.

Согласно СанПиН 2.1.3684-21 [23] на использование земель, попадающих в зону санитарного разрыва, наложены ограничения. В них нельзя располагать любую жилую застройку, ландшафтно-рекреационные зоны, зоны отдыха, территории курортов, санаториев и домов отдыха, садоводческие товарищества и коттеджную застройку, дачные и садово-огородные участки, спортивные сооружения, детские площадки, образовательные и детские учреждения, лечебно-профилактические и оздоровительные учреждения и любые другие территории, на которых нормируются показатели качества среды обитания.

Организация зон санитарного разрыва является действенным организационным методом защиты от повышенных воздействий шума, однако, как

было сказано в главе 1.1 в условиях нехватки свободного места для строительства новых жилых кварталов, большой размер зон санитарного разрыва является проблемой. Целесообразно сокращать размеры санитарных разрывов путем применения различных технических средств снижения шума. [69]

### *1.5.2 Снижение шума на пути распространения*

Средства снижения шума делятся на два вида – средства снижения шума в источнике и на пути распространения.

Одним из самых распространенных средств защиты от шума на пути его распространения является шумозащитный экран. Данный способ защиты от шума был хорошо изучен и нашел широкое применение в том числе на железной дороге. Эффективность шумозащитных экранов достигает 8 – 20 дБА [70 – 76] и зависит от их длины и высоты, материалов из которых изготовлены экраны, их формы и места установки. Основными требованиями к шумозащитным экранам являются: отсутствие разрывов, поверхностная плотность не менее 10 кг/м<sup>2</sup> и высота, превышающая длину звуковой волны основной составляющей в спектре шума. Шумозащитные экраны, устанавливаемые на железных дорогах должны соответствовать ГОСТ 33328-2015 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля» [77] и ГОСТ 33329-2015 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования» [78].

Помимо обычных шумозащитных экранов существуют также малые шумозащитные экраны. Их высота не превышает 1,5 м, а эффективность при этом составляет около 5 дБА. Особенностью применения таких экранов является то, что они должны располагаться на максимально близком расстоянии от железнодорожного пути в пределах разрешенных габаритов приближения. На данный момент малые шумозащитные экраны не применяются на российских железных дорогах в связи с тем, что они затрудняют обслуживание путей. [79 – 81]

Шумозащитные насыпи обладают эффективностью от 5 до 20 дБА в зависимости от их высоты, но при этом обладают рядом серьезных недостатков. В сравнении с шумозащитным экраном той же эффективности шумозащитная насыпь

должна быть на 15-20 % выше, при этом если эффективность экрана можно дополнительно увеличить, например, применив другую форму его козырька, то для увеличения эффективности насыпи ее можно только сделать выше. Откосы насыпей должны иметь уклон 1:2 или 1:1,5, что говорит о том, что насыпь занимает значительную площадь, хотя это можно компенсировать размещением в теле насыпи сооружения, для которых отсутствуют нормы шума. Еще одной проблемой, с которой можно столкнуться при проектировании шумозащитной насыпи является обеспечение инсоляции ближайшей жилой застройки и видимости на железной дороге. В случае с шумозащитными экранами эта проблема может быть решена при помощи светопрозрачных панелей без значительного снижения эффективности экрана. В случае с насыпью ее можно сделать ниже или короче, что значительно снизит ее эффективность. Шумозащитные насыпи на данный момент не применяются на российских железных дорогах. [82 – 84]

Для защиты от шума железнодорожного транспорта могут быть использованы густые зеленые насаждения. Зеленые насаждения шириной от 30 до 50 метров обладают эффективностью 10 – 15 дБА, при этом они должны быть густыми, обязательно наличие подлеска в виде кустарника, а сами деревья должны быть хвойными, чтобы в холодный период года эффективность не снижалась. Нешумозащитные зеленые насаждения обладают эффективностью 4 дБА на 100 м. [85 – 89]

Эффективным средством снижения шума в застройке являются шумозащитные здания. К ним относятся здания, планировка которых реализована таким образом, что окна жилых помещений не выходят на фасад, обращенный к источнику шума, здания, в которых установлено шумозащитное остекление или здания, объединяющие себе оба варианта. Для обеспечения достаточной эффективности шумозащитное здание должно быть высоким, протяженным и должно располагаться близко к источнику шума. [90, 91]

Для снижения шума в жилых и других нормируемых помещениях широко применяется шумозащитное остекление. Шумозащитное остекление представляет собой стеклопакет со звукоизоляцией, достаточной для обеспечения нормы в

помещении и устройство для проветривания (пассивный или активный клапан-проветриватель). [90, 92]

### *1.5.3 Снижение шума в источнике*

Для снижения шума в источнике его образования применяются различные методы, способствующие уменьшению шума, образующегося при контакте колеса и рельса.

Шлифование рельса является одним из способов снижения шума в системе колесо-рельс, его эффективность составляет 2 – 3 дБА. При использовании данного метода, как средства снижения шума, необходимо также производить контроль технического состояния колесных пар. Так как даже при отсутствии неровностей и шероховатостей рельса плохое состояние колеса способно привести к образованию шума. Шлифование рельсов на российских железных дорогах осуществляется в соответствии с «Техническими указаниями по шлифованию рельсов». [94 – 97]

Вибродемпфирующие накладки на шейку рельса также способствует уменьшению вибрации в системе колесо-рельс и, как следствие, снижению шума. Вибродемпфирующие накладки из специальной композиционной резины с добавлением соединений железа крепятся к рельсу, дополнительно на шейку рельса, колеса и тележку состава может быть нанесена виброшумопоглощающая мастика. Данное мероприятие дает эффект снижения уровней шума до 2 – 3 дБА. [94, 95]

Замена звеньевоего пути на бесстыковой позволяет добиться снижения шум на 3 дБА. Этот эффект достигается за счет отсутствия на бесстыковом пути ударов колеса о место стыка рельсов. [98]

### *1.5.4 Методы снижения шума, применяемые за рубежом*

В отделении железнодорожного транспорта Технологического института в Карлсруэ (KIT) (Германия) был создан проект FiL-Rail в рамках которого разрабатываются шумопонижающие функциональные элементы железнодорожного пути. Основные задачи проекта – снижение уровня воздушного и корпусного шума, а также понижение стоимости элементов железнодорожного

пути. В рамках проекта были разработаны FiL-Rail ERS (утопленный путь на жестком основании), FiL-Rail MSW (низкая шумопоглощающая стенка), FiL-Rail Diffusor (поглотитель воздушного шума), FiL-Rail LN Bridge (мост с низким уровнем шума), FiL-Rail EcoTrack (растительный покров в пространстве между путями и рельсами). FiL-Rail ERS устойчивый к износу безбалластный путь позволяет достичь эффективности в 20 дБА, кроме того, как показывают исследования, смещает пиковое значение уровня шума с 2000 Гц в сторону более низких частот, то есть в область, где чувствительность человеческого уха ниже. Низкая стенка FiL-Rail MSW, высота которой составляет 2 м (существует также в вариациях 76 см и 38 см) устанавливается на расстоянии не более 0,85 м от рельса, ожидаемое снижение шума от 5 до 10 дБА в зависимости от акустических параметров (звукопоглощающая, отражающая стенка, стенка с активным звукопоглощением). FiL-Rail Diffusor шумопоглотители которые устанавливаются между рельсами и сбоку от них за пределами габарита приближения строений могут быть использованы совместно со стенкой FiL-Rail MSW. На конструкцию пути FiL-Rail ERS получен допуск Федерального бюро железных дорог Германии (EBA). [99, 100]

Для того чтобы избавиться от шума тормозной системы, прибегают к замене тормозной системы: колодочные тормоза заменяют дисковыми, а чугунные колодки композитными или металлокерамическими. Замена колодочных тормозов дисковыми на пассажирских вагонах снижает шум на 8 – 9 дБА. Так как замена колодочных тормозов невозможна на грузовых поездах, на них заменяют чугунные колодки. Для замены чугунных колодок были разработаны два вида колодок: колодки типа К (из композитных материалов, для новых подвижных составов) и колодки типа LL (из металлокерамического материала для эксплуатируемых составов). Эффективность данного мероприятия составляет 5 – 8 дБА. [101 – 103]

Для снижения шума в системе колесо-рельс применяется так называемое тихое колесо. В данной системе применяют: введение дополнительных отверстий в ступице колеса для снижения площади излучения звука; введение в конструкцию колеса абсорбентов, обеспечивающих его вибродемпфирование; виброизоляция

колеса для прерывания пути распространения вибрации; уменьшение площади звукоизлучения путем звукоизоляции отдельных частей колеса. Эффективность данных мероприятий составляет 5 – 10 дБА. [104, 105]

В Европе применяется комбинированный метод акустического шлифования, представляющий собой сочетание фрезерования, строгания и колебательно-статического шлифования. Акустическое шлифование принимается, если внешний шум от поездов превышает 70 дБА днем и 60 дБА ночью. Как правило периодичность шлифования рельсов составляет не более 12 месяцев. При этом рекомендуется регулярно контролировать состояние рельсов как визуально, так и при помощи замеров. Эффективность данного мероприятия варьируется в пределах от 4 до 17 дБА. [106, 107]

Для снижения излучения звука рельсом применяется вибродемпфирование и звукоизоляция шейки рельса. В первом случае на шейку рельса устанавливается вибродемпфирующая накладка из тяжелой резины, это позволяет снизить шум на 2 – 8 дБА. Во втором случае к шейке и подошве рельса с каждой стороны прикрепляются экраны, на стальной профиль экрана изнутри наносится вибродемпфирующее покрытие и звукопоглощающий материал. Эффективность данного мероприятия – 4 – 11 дБА. [108 – 111]

Французская компания Alstom начала выпуск новых поездов, работающих от контактной сети и водородных топливных элементов. В 2025 году эти поезда начнут курсировать в нескольких регионах Франции, на железных дорогах Германии и Нидерландов они уже успешно используются. Ввод в эксплуатацию таких поездов будет способствовать уменьшению выбросов парниковых газов и снижению уровня шума. В Германии и Швейцарии был разработан проект малошумных грузовых вагонов, в конструкции которых использованы разнообразные инновационные компоненты, такие как инновационные тележки вагонов, облегченный кузов, колесные пары с пониженным уровнем шума, дисковые тормоза и пр. [98, 113]

В Европе большое внимание уделяется нормированию шума подвижного состава. В 2015 году была введена Директива N 1304/2014, ограничивающая

уровень шума выпускаемых поездов. С 2020 года в Германии запрещено допускать на железные дороги поезда, уровень шума которых не отвечает требованиям [112]. В 2011 году в Европе был запущен проект ACOUTRAIN, целью которого является ускорение процесса сертификации поездов за счет внедрения элементов виртуального тестирования при сохранении той же степени надежности и точности. В процессе такого тестирования подвижной состав представляется как совокупность точечных источников шума, рельсы, шпалы, шумное оборудование, все это представляется как точечные источники шума с эквивалентным уровнем звука. Общий уровень шума состава определяется путем энергетического суммирования. [112, 114].

Большое количество методов снижения шума приводит к возникновению вопроса о том, какие из них будут наиболее подходящими в той или иной ситуации. Выбор необходимых и достаточных средств снижения шума является важной задачей как на этапе проектирования новых объектов, так и при решении существующих проблем с превышениями уровней шума в жилой застройке. В данной работе будут разработаны рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий для различных типов застройки.

### ***1.6. Постановка задач исследования***

Снижение шума железнодорожного транспорта на селитебной территории является актуальной проблемой как для существующей застройки, так и для проектируемых жилых районов. В связи с тем, что городская и сельская застройки имеет ряд особенностей, распространение шума в них происходит по-разному. Как показывают результаты расчетов и натурных измерений существующие методики определения снижения шума в условиях застройки недостаточно точны и не учитывают различные варианты распространения шума в типичных жилых массивах.

Основными задачами исследования являются:

- выявление типовых, с точки зрения распространения шума, массивов зданий в городской и сельской застройке;

- выполнение теоретических исследований распространения и затухания звука от железной дороги в различных типах застройки;
- разработка методики экспериментальных исследований затухания шума железнодорожного транспорта в различных типах застройки;
- выполнение экспериментальных исследований по уточнению и выявлению влияния различных свойств элементов застройки на затухание шума;
- разработка расчетной модели для оценки снижения шума на территории застройки для типовой застройки с учетом особенностей распространения звука;
- разработка расчетных формул для расчета затухания звука в данных расчетных схемах;
- разработка рекомендаций по выбору шумозащитных мероприятий исходя из типов жилой застройки;
- разработка рекомендаций по размещению нормируемых объектов на территориях вдоль существующих железных дорог;
- апробация на практике предложенных методик и подходов.

## ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### *2.1. Измерения шумовых характеристик потоков железнодорожного транспорта*

Измерение шумовых характеристик потоков железнодорожного транспорта выполняются в соответствии с ГОСТ 20444-2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики». Шумовой характеристикой потока железнодорожного транспорта является эквивалентный уровень звука и максимальный уровень звука.

Измерения проводились на прямых и горизонтальных участках железнодорожного пути или на участках, радиус кривизны которых составлял не менее 1000 м, а уклон которых не превышал 5 %. На всех участках проведения измерений отсутствовал волнообразный износ рельсов, и прочие видимые дефекты поверхности. Измерения проводились на участках железнодорожного пути с бетонными и деревянными шпалами. В тоннелях, галереях и на мостах измерения не проводились.

При проведении измерений на микрофон был надет ветрозащитный экран. Значения метеорологических параметров в периоды проведения измерений не выходили за пределы условий эксплуатации измерительной аппаратуры и вспомогательного оборудования, во время дождя и тумана измерения не проводились.

Измерительный микрофон располагался на расстоянии  $25 \pm 0,5$  м от оси ближайшего железнодорожного пути на высоте  $1,5 \pm 0,5$  м от уровня головки рельса.

Ось измерительного микрофона была ориентирована в сторону железной дороги перпендикулярно железнодорожным путям. Нахождение между измерительным микрофоном и источником шума людей и посторонних предметов не допускалось. Оператор, выполняющий измерения, находился на расстоянии не

менее 0,5 м от измерительного микрофона, соседние здания и сооружения находились на расстоянии не менее 2 м от измерительной аппаратуры, что препятствовало нежелательному отражению звука.

Скорость движения поездов определялась путем фиксирования времени проезда по участку определенной длины и дальнейшего расчета, проводимого по полученным данным.

При проведении измерений шумовой характеристики потока железнодорожного транспорта также проводились измерения фоновых уровней шума. Разница между фоновым шумом и шумом при прохождении поезда мимо точки измерения превышала 10 дБА, коррекция на фон не учитывалась.

Измерения, во время которых раздавались гудки локомотивов, в дальнейшем не рассматривались.

Так как интенсивность движения поездов была недостаточно высокая, измерения проводились в соответствии с п. 7.2.9. ГОСТ 20444-2014. Были измерены максимальные уровни звука и уровни звукового воздействия при отдельных проездах поездов каждой категории (грузовые поезда, пассажирские поезда, пригородные электропоезда, скоростные поезда). Измерение во время проезда каждого поезда мимо точки измерения длилось до тех пор, пока уровень звука не снижался на 10 дБА относительно наибольшего мгновенного уровня звука в момент прохода поезда мимо точки измерения. Измерения проводились в объеме не менее 3 раз для каждой категории поезда.

Изменения шумовых характеристик потоков железнодорожного транспорта проводились на различных участках Московской железной дороги, Горьковской железной дороги, Красноярской железной дороги и Северо-Кавказской железной дороги.

В таблице 2.1.1 представлен перечень участков железных дорог, на которых были проведены измерения.

Таблица 2.1.1 Перечень участков железных дорог, на которых были проведены

измерения

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД
1.	Горьковская железная дорога	станция Толоконцево – станция Рекшино	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
2.	Горьковская железная дорога	станция Юрьеvec – станция Колокша	1	Скоростная железнодорожная линия
3.	Горьковская железная дорога	станция Автоприбор – станция Боголюбovo	1	Скоростная железнодорожная линия
4.	Красноярская железная дорога	станция Бугач – станция Северное шоссе	1	Железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением
5.	Красноярская железная дорога	станция Бугач – станция Северное шоссе (в районе станции Бугач)	1	Железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением
6.	Красноярская железная дорога	станция Путепровод – станция Красноярск-Пасс.	1	Железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением
7.	Красноярская железная дорога	станция Абакан – станция Мостоотряд	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
8.	Красноярская железная дорога	станция Абакан – станция Абакан-Сортировочная	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
9.	Красноярская железная дорога	станция Абакан-Сортировочная – станция Городок МПС	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
10.	Красноярская железная дорога	станция Городская – станция Садовая (в районе станции Карай)	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
11.	Московская железная дорога	станция Железнодорожная – станция Кучино	1	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
12.	Московская железная дорога	станция Кубинка-1 – станция Кубинка-2	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
13.	Московская железная дорога	станция Манихино-1 – станция Троицкая	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
14.	Московская железная дорога	станция Верхние котлы – станция Тульская	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
15.	Московская железная дорога	станция Подосинки – станция Куровская	2	Железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением
16.	Московская железная дорога	станция Железнодорожная – станция Кучино	1	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД
17.	Московская железная дорога	станция Маленковская – станция Москва-3	1	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
18.	Московская железная дорога	станция Детская – станция Фрязино-Тов.	3	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
19.	Московская железная дорога	станция Матвеевская – станция Очаково	3	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
20.	Московская железная дорога	станция Балашиха – станция Горенки	4	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
21.	Московская железная дорога	станция Москва Рижская – станция Дмитровская (со стороны 8-го проезда Марьиной Роши)	4	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
22.	Московская железная дорога	станция Москва-Рижская – станция Дмитровская (со стороны Проектируемого проезда № 1135)	4	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
23.	Московская железная дорога	станция Столбовая – станция Молоди	4	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
24.	Московская железная дорога	станция Лосиноостровская – станция Лось	1	Особогрузонапряженная железнодородная линия
25.	Московская железная дорога	станция Москва-Тов. – станция Нижегородская	1	Особогрузонапряженная железнодородная линия
26.	Московская железная дорога	станция Москва-Пасс.-Курская – станция Серп и молот	1	Особогрузонапряженная железнодородная линия
27.	Московская железная дорога	станция Электrozаводская – станция Перово-4	1	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
28.	Северо-Кавказская железная дорога	станция Рабочий городок – станция Ростов-Главный	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
29.	Северо-Кавказская железная дорога	станция Рабочий городок – станция Ростов-Главный (линия ж/д вдоль ул. Нансена)	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
30.	Северо-Кавказская железная дорога	станция Невинномысская – станция 1737 км (в районе станции Невинномысской)	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
31.	Северо-Кавказская железная дорога	станция 7 км – станция Милованово	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
32.	Северо-Кавказская железная дорога	станция 1574 км – станция Мирская	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД
33.	Северо-Кавказская железная дорога	станция Кавказская– станция 1578 км и станция Кавказская – станция 7 км	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
34.	Северо-Кавказская железная дорога	станция Кавказская– станция Гетмановская	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением
35.	Северо-Кавказская железная дорога	станция ЗИП – станция Сады	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
36.	Северо-Кавказская железная дорога	станция Краснодар 2 – станция ЗИП	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
37.	Северо-Кавказская железная дорога	станция Абинская – станция Эриванский	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением
38.	Северо-Кавказская железная дорога	станция Варениковская – станция Юровский	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением

## ***2.2. Проведение измерений распространения шума в жилой застройке***

Измерение шума на территории жилой застройки проводилось по методике измерения ГОСТ 23337-2014 «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий». Так как основным источником шума являлись железные дороги т.е. шум непостоянный измерялись следующие параметры: эквивалентный уровень звука и максимальный уровень звука.

Измерения проводились на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам. Измерительный микрофон, установленный на штативе на высоте  $1,5 \pm 0,5$  м над подстилающей поверхностью, был ориентирован главной осью в сторону основного источника шума – железной дороги. Оператор, проводящий измерения, находился на расстоянии не менее 0,5 м от измерительного микрофона. Расстояние от измерительного микрофона до зданий и сооружений составляло не менее 2 м, что препятствовало нежелательному отражению звука. Точки измерений располагались на расстоянии 25, 50, 100 и 200 м от оси ближайшего железнодорожного пути. По возможности все четыре измерительных микрофона

располагались на одной линии, перпендикулярной железнодорожным путям. На рисунке 2.2.1 показано расположение измерительных микрофонов.

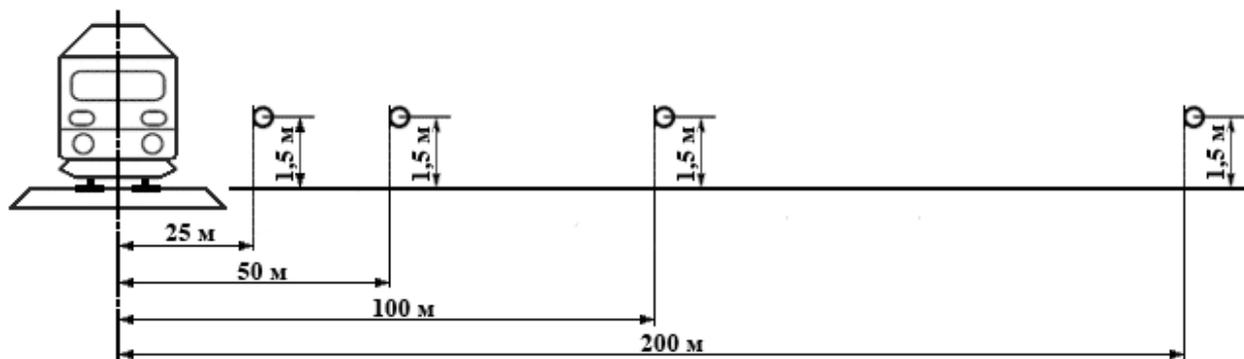


Рис. 2.2.1 Схема расположения микрофонов

При проведении измерений на микрофон был надет ветрозащитный экран. Значения метеорологических параметров в периоды проведения измерений не выходили за пределы условий эксплуатации измерительной аппаратуры и вспомогательного оборудования, во время дождя и тумана измерения не проводились.

Измерения проводились синхронно во всех точках измерения во время проезда поезда мимо точки измерения. Измерение во время проезда каждого поезда длилось до тех пор, пока уровень звука не снижался на 10 дБА относительно наибольшего мгновенного уровня звука в момент проезда поезда мимо точки измерения. Измерения проводились в объеме не менее 3 раз для каждой категории поезда.

Результаты измерений во всех точках сравнивались с фоновыми уровнями звука и при необходимости корректировались с применением поправочного коэффициента, в соответствии с п. 8.3 – 8.4 ГОСТ 23337-2014. Результаты измеренных уровней звука, разность которых с уровнями фонового шума менее 3 дБА исключалась, и в дальнейших расчетах не учитывалась.

Для проведения измерений были выбраны участки с различными типами застройки (городской и сельской) и различными вариантами расположения зданий.

Примеры схем расположения точек измерений на различных участках представлены на рисунке 2.2.2.

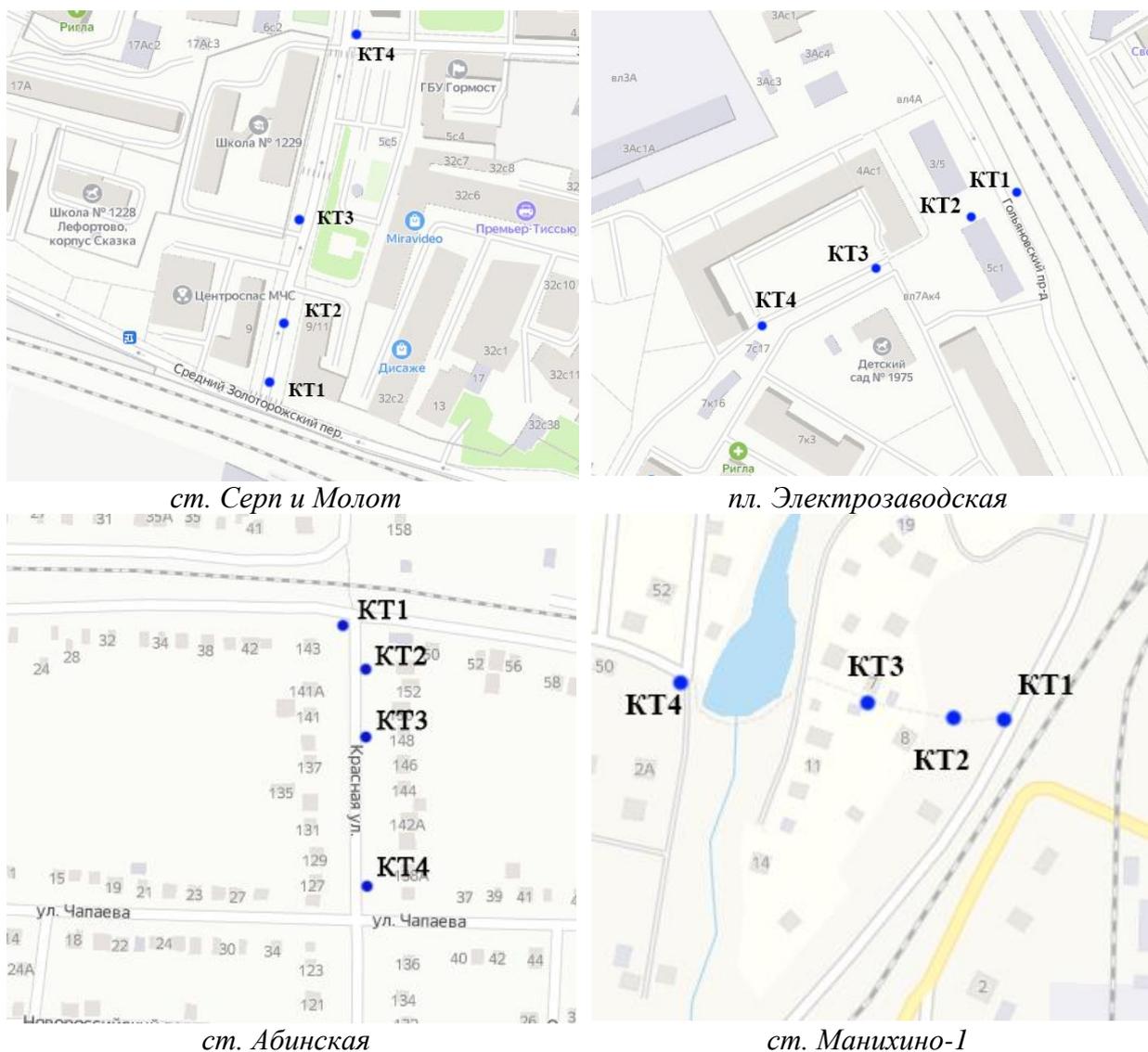


Рис. 2.2.2 примеры схем расположения точек измерения

### 2.3 Измерительная аппаратура

Средства измерения (шумомеры), включая микрофоны, кабели и регистрирующие устройства, при помощи которых проводились измерения, соответствуют требованиям к измерительным приборам 1 класса по ГОСТ 53188.1-2019 [116], ГОСТ 17187-2010 [117] и ГОСТ 17168-82 [118].

Все средства измерений, используемые для проведения измерений, внесены в Государственный реестр средств измерений и имеют действующие свидетельства о поверке.

До и после каждой серии измерений проводилась проверка калибровки шумомеров при помощи акустического калибратора 1 класса. При проверке калибровки до и после измерения показания шумомера отличались не более чем на 1 дБА.

Метеорологические условия (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, атмосферное давление) определялись при помощи прибора для измерения метеорологических параметров «Метеоскоп-М».

Перечень средств измерений, применяемых для проведения измерений:

- шумомер-виброметр, анализатор спектра ЭКОФИЗИКА-110А, зав. № БФ150131 в комплекте с предусилителем Р200 № 112672 и микрофонным капсюлем МК-265 № 3720;
- шумомер-виброметр, анализатор спектра ЭКОФИЗИКА-110А, зав. № ЭФ151066 в комплекте с предусилителем Р200 № 133570 и микрофонным капсюлем ВМК-205 № 4136;
- шумомер-виброметр, анализатор спектра ЭКОФИЗИКА-110А, зав. № БА140007 в комплекте с предусилителем Р200 № 112614 и микрофонным капсюлем ВМК-205 № 2838;
- шумомер-виброметр, анализатор спектра ЭКОФИЗИКА-110А, зав. № БФ140065, предусилитель Р200 № 101325, микрофон ВМК-205 № 4126;
- калибратор акустический тип АК-1000, зав. № 0313.

Средства контроля условий проведения измерений:

- измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М», зав. № 350818;
- рулетка измерительная металлическая Geobox РК2-8 зав. № 235969;
- рулетка измерительная металлическая twoCOMP 3м зав. № 3Т-0876.

Программные средства:

- программный комплекс для сбора, обработки и анализа данных оцифрованных сигналов Signal+3G.

Вспомогательные устройства:

- адаптеры для передачи телеметрии данных;

- кабели для передачи данных;
- штанги телескопические;
- штативы-триподы.

## 2.4. Обработка результатов измерений

Анализ условий проведения измерений показывает, что для полученных результатов измерений все коррекции, которые могут быть внесены в соответствии с методиками измерений равны нулю.

Так как интенсивность движения поездов была недостаточно велика и измерения проводились путем измерения уровня звукового воздействия при проезде поезда, эквивалентный уровень звука был определен по следующей формуле:

$$L_{Aeq\text{потока}}^{\text{желез}} = 10 \cdot \lg \left\{ 1/T \left[ 10^{(\bar{L}_{EA\text{пасс}} + 10 \lg n_{\text{пасс}})/10} + 10^{(\bar{L}_{EA\text{груз}} + 10 \lg n_{\text{груз}})/10} + 10^{(\bar{L}_{EA\text{приг}} + 10 \lg n_{\text{приг}})/10} + 10^{(\bar{L}_{EA\text{скор}} + 10 \lg n_{\text{скор}})/10} \right] \right\}, \text{ дБА}, \quad (2.1)$$

где  $\bar{L}_{EA\text{пасс}}$ ,  $\bar{L}_{EA\text{груз}}$ ,  $\bar{L}_{EA\text{приг}}$ ,  $\bar{L}_{EA\text{скор}}$  – средние уровни звукового воздействия по видам поездов, дБА (определяются в соответствии с формулой 3.2);

$n_{\text{пасс}}$ ,  $n_{\text{груз}}$ ,  $n_{\text{приг}}$ ,  $n_{\text{скор}}$  – число пассажирских, грузовых, пригородных и скорых поводов за временной интервал наблюдения  $T$ .

$$\bar{L}_{EAi} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_i} 10^{0.1 L_{EAi}} \right), \text{ дБА}, \quad (2.2)$$

где  $L_{EAi}$  – уровень звукового воздействия, измеренный при проходе  $i$ -го транспортного средства, дБА;

$n_i$  – число проходов транспортного средства определенного типа, для которых выполнялись измерения.

Для оценки погрешности результатов измерений необходимо определить расширенную неопределенность измерений.

Расширенная неопределенность измерений  $U(N)$  шумовых характеристик потоков железнодорожного транспорта оценивается при помощи одностороннего интервала охвата усредненного уровня звука, дБА, уровня доверия  $N$ , %, и коэффициента охвата  $k$  по формуле:

$$U(N) = ku, \text{ дБА}, \quad (2.3)$$

Где  $k$  – коэффициент охвата;

$u$  – стандартная неопределенность измерения, дБА.

Уровень доверия принимается 95%, что соответствует коэффициенту охвата 2.

Ниже описан порядок расчетов, проведенных для оправления расширенной неопределенности измерений.

По формуле 3.4 определяется среднее значение измеренных уровней звука по откорректированным результатам нескольких аналогичных измерений уровней звука:

$$\bar{L}_{Aeq} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^{n_i} 10^{0.1L_i} - 10 \cdot \lg n, \text{ дБА}, \quad (2.4)$$

где  $L_i$  – значения измеренного уровня звука и откорректированного, дБА,

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ ,

$n$  – общее количество измерений.

Для каждой серии измерений по формуле 3.5 рассчитывается неопределенность по типу А, наличие которой обусловлено погрешностью измерительной методики и условиями измерений.

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L}_{Aeq})^2}{n(n-1)}}, \text{ дБА} \quad (2.5)$$

Неопределенность по типу В, вызванную инструментальной погрешностью определяют по формуле:

$$u_B = \frac{\Delta L_{инстр}}{\sqrt{3}}, \text{ дБА}, \quad (2.6)$$

где  $\Delta L_{инстр}$  – погрешности инструментальных измерений уровней звука, дБА.

Расширенная неопределенность измерения  $U(95\%)$  определяется по формуле:

$$U(95\%) = 2 \times \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \text{ дБА} \quad (2.7)$$

Верхняя граница интервала охвата рассчитывается как:

$$\bar{L}_{Aeq} + U(95\%), \text{ дБА} \quad (2.8)$$

В результате, шумовая характеристика транспортного потока на рассматриваемом участке с вероятностью 95% будет равна:

$$L_{Aeq} = \bar{L}_{Aeq} + U(95\%), \text{ дБА} \quad (2.9)$$

Все результаты измерений оформляются протоколом измерений в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58973-2020 «Оценка соответствия. Правила к оформлению протоколов испытаний» [119], ГОСТ 20444-2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики» [60] и ГОСТ 23337-2014 «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий» [59].

Протокол измерений обязательно содержит:

- вид испытаний, дату, название и адрес организации, проводящей измерения;
- описание условий проведения измерений, включая описание места проведения измерений, тип пути, метеорологические условия проведения испытаний, в том числе скорость ветра, и иные;
- перечень средств измерений с указанием сведений о поверке / калибровке;
- схему расположения микрофонов (точек измерений);
- результаты измерений;
- другую необходимую информацию.

Для каждого проезда подвижного состава на испытательном участке рассчитывается величина затухания звука на местности по представленной формуле:

$$\Delta L_{i,j} = L_i - L_j \quad (2.10)$$

где  $L_i$ , – значение уровня звука в  $i$ -ой точке измерений при проезде, дБА;  $L_j$  – значение уровня звука в  $j$ -ой точке измерений при проезде поезда, находящейся на вдвое большем расстоянии от оси ближайшего магистрального (главного) пути, чем  $i$ -ая точка.

Для всех рассматриваемых типов подвижного состава, функционирующих на испытуемом участке, рассчитываются средние значения затухания –  $\Delta \bar{L}$  тип поезда  $i-j$ , дБ (дБА) по формуле:

$$\Delta \bar{L}_{\text{тип поезда } i-j} = \left( \frac{\sum_{a=1}^n \Delta L_{\text{тип поезда } i-j, a}}{n} \right) \quad (2.11)$$

Рассчитываются средние значения затухания звука на местности для всего потока железнодорожного транспорта на испытуемом участке –  $\Delta L_{\text{потока } i-j}$ , дБ (дБА) по формуле:

$$\Delta L_{\text{потока } i-j} = \left( \frac{\sum_{a=1}^n \Delta L_{i-j, a}}{n} \right) \quad (2.12)$$

По средним значениям затухания звука от отдельных типов подвижного состава  $\Delta \bar{L}_{\text{тип поезда } i-j}$ , дБ (дБА) полученных на всех испытательных участках, рассчитываются значения затухания звука от отдельных типов подвижного состава для различных типов местности  $\Delta \bar{L}_{\text{тип местности, тип поезда } i-j}$ , дБ (дБА) по формуле:

$$\Delta \bar{L}_{\text{тип местности, тип поезда } i-j} = \left( \frac{\sum_{a=1}^n \Delta \bar{L}_{\text{тип поезда } i-j, a}}{n} \right) \quad (2.13)$$

По средним значениям затухания звука от железнодорожного транспорта  $\Delta L_{\text{потока } i-j}$ , дБ (дБА) полученных на всех испытательных участках, рассчитываются и значение затухания звука от железнодорожного транспорта для различных типов местности  $\Delta \bar{L}_{\text{тип местности } i-j}$ , дБ (дБА).

$$\Delta \bar{L}_{\text{тип местности } i-j} = \left( \frac{\sum_{a=1}^n \Delta L_{\text{потока } i-j, a}}{n} \right) \quad (2.14)$$

### ***Выводы по главе***

1. Определение шумовой характеристики потока железнодорожного транспорта выполнено по стандартной методике, включающей себя измерения уровней звукового воздействия при проезде отдельно взятых поездов и расчет шумовой характеристики потока поездов заданной интенсивности;
2. Разработана методика определения величины затухания звука в застройке, заключающаяся в проведении измерений уровней шума на селитебной территории на расстоянии 25, 50, 100 и 200 м от железной дороги и расчете среднего затухания;
3. Приведена стандартная методика оценки погрешности результатов измерения.

## ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА В ЗАСТРОЙКЕ

### *3.1. Общие положения и допущения теории*

В данной теории рассмотрены типовые группы зданий (массивы), характерные для городской и сельской застройки, в качестве источника шума рассматривается поток железнодорожного транспорта.

Для расчета снижения шума в данной работе предлагаются расчетные схемы для оценки распространения шума на территории застройки и математические модели для различных массивов зданий, учитывающие особенности распространения звука.

*Основные положения теории:*

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

2. Жилые массивы рассматриваются как области затухания шума, в которых реализуются процессы геометрической дивергенции, дифракции, поглощения и отражения звука, молекулярного затухания и пр., рассматриваемые совместно.

3. Массив не рассматривается как набор единичных зданий, проемов и других элементов, а приобретает свои свойства в результате преобразования звукового поля за счет:

– расположения элементов массива, обладающих экранирующими свойствами, относительно источника шума;

– геометрических параметров элементов застройки (длины фасадов и торцов здания, высоты здания) и их соотношения между собой и к открытым промежуткам (проемам и разрывам между зданиями);

– плотности застройки, т.е. соотношения застроенной части к общей площади застройки.

4. На снижение шума в массиве влияют его геометрические параметры – длина и ширина участка застройки (области затухания шума).

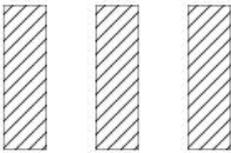
### *Основные допущения разработанной теории:*

При проведении расчетов был принят ряд допущений. Основные принятые допущения:

1. Источник шума - поток железнодорожного транспорта - считается ненаправленным линейным источником шума.
2. Источники шума, рассматриваемые в работе некогерентны (рассматриваются широкополосные источники, расстояние между которыми значительно превышает длину волны ( $r \geq \frac{\lambda}{6}$ )).
3. Все рассматриваемые процессы считаются линейными, так как уровень звукового давления источников не превышает 130 дБ во всех октавных полосах частот.
4. Расчеты производятся для территории застройки.
5. Все расчеты производятся для эквивалентного уровня звука ( $L_{эkv}$ , дБА), так как он является основной шумовой характеристикой потока железнодорожного транспорта в соответствии с [68].
6. Расчет распространения шума при помощи разработанной теории может быть проведен только для застроенной территории.
7. Расчет распространения шума в пространстве, свободном от застройки, производится по стандартной методике [53].

### ***3.2. Исследования распространения шума в городской застройке***

Среди участков, перечисленных в главе 2, на которых проводились экспериментальные измерения, были выделены участки с четырьмя характерными типами городской застройки: строчная параллельная застройка, строчная перпендикулярная, периметральная, ленточная. На рисунке 3.2.1 показаны схемы расположения зданий в различных типах застройки.

Строчная параллельная застройка	
Строчная перпендикулярная застройка	
Периметральная застройка	
Ленточная застройка	

*Рис. 3.2.1* Схемы расположения зданий в различных типах застройки

Для затуханий на различных расстояниях были определены средние значения, среднеквадратичное отклонение ( $S$ ) и коэффициент вариации ( $CV$ ), который позволил оценить разброс значений затуханий. [129] Разброс считается несущественным при значении  $CV < 10\%$ , при значениях  $CV$  10 – 20% разброс

считается приемлемым, если значения CV 20% – 30% разброс значений существенный, при CV свыше 30% разброс значений очень высокий.

*К строчной параллельной застройке* относятся следующие участки, на которых проводились измерения:

- Ст. Столбовая;
- Ст. Путепровод;
- Ст. Бугач.

Схемы данных участков представлены на рисунках 3.2.2 – 3.2.4.

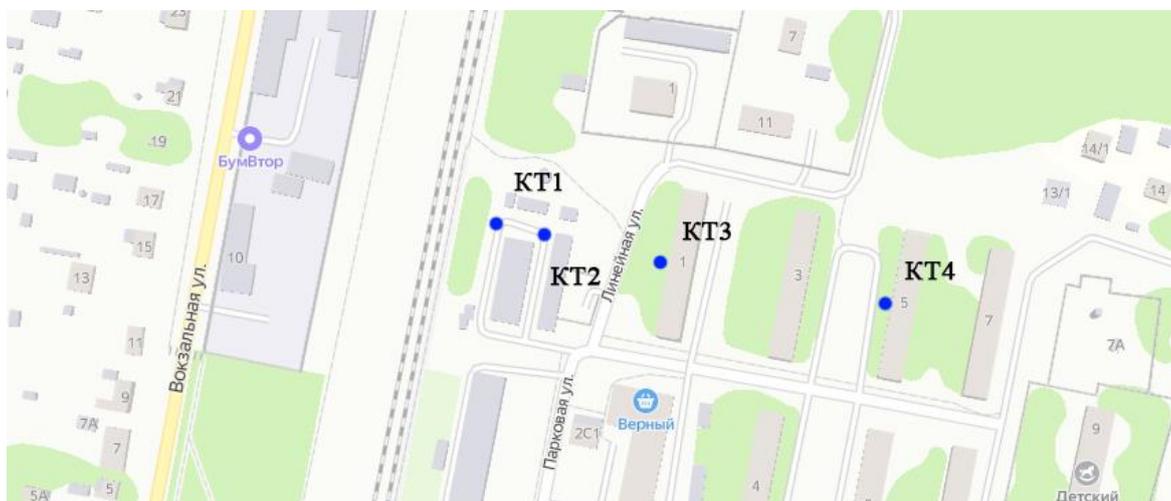


Рис. 3.2.2. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Столбовая



Рис. 3.2.3. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Путепровод



Рис. 3.2.3. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Бугач

На графиках, представленных на рисунках 3.2.5 – 3.2.7 показаны значения затуханий шума при распространении с 25 до 50 м, с 50 до 100 м и со 100 до 200 м.

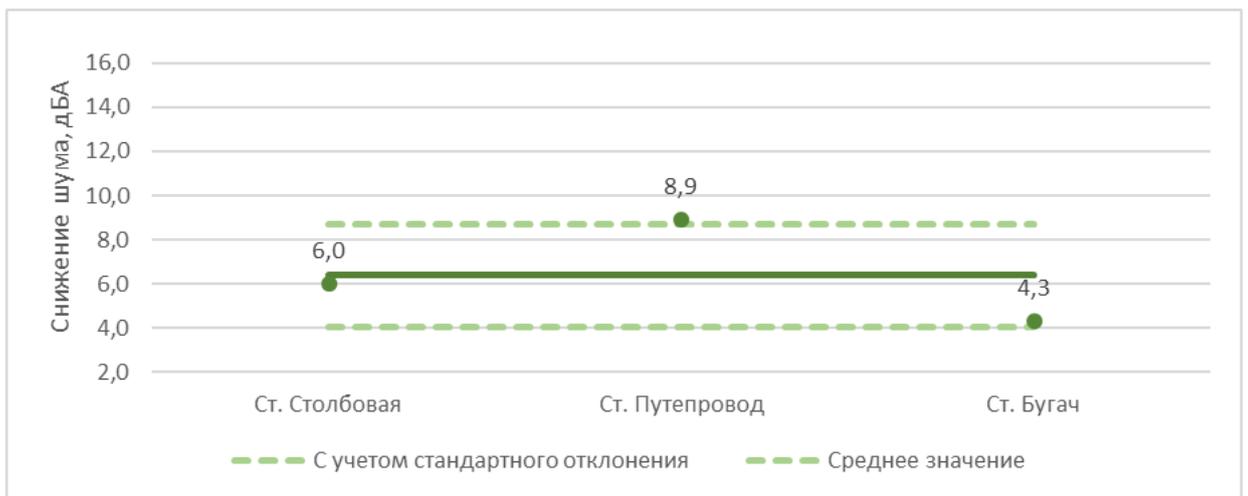


Рис. 3.2.5. Снижение шума при распространении с 25 до 50 м

На ст. Путепровод снижение шума значительно выше, чем на остальных участках, что обусловлено наличием экранирующих сооружений большего размера. Среднее значение затуханий составляет 6,4 дБА.

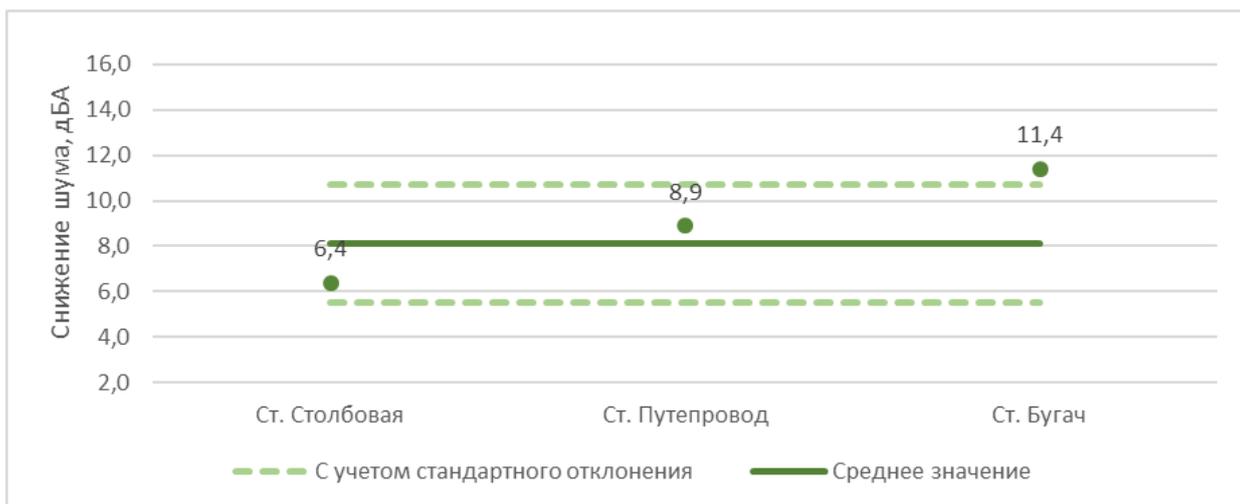


Рис. 3.2.6. Снижение шума при распространении с 50 до 100 м

Снижение шума при распространении с 50 на 100 м для всех участков обусловлено наличием экранирующих сооружений, на участке ст. Бугач экранирующие сооружения расположенные слева и справа от контрольных точек уменьшают угол видимости.



Рис. 3.2.7. Снижение шума при распространении со 100 до 200 м

Начиная со 100 м на всех участках наблюдается сформировавшийся тип застройки с жилыми зданиями, расположенными параллельно железной дороге. Разброс значений незначительный, что подтверждается коэффициентом вариации 9,8%.

В таблице 3.2.1 представлены затухания шума на данных участках, полученные в ходе измерений и расчетов.

Таблица 3.2.1. Затухания шума в строчной параллельной застройке

Участки	Затухание 25-50 м, дБА	Затухание 50-100 м, дБА	Затухание 100-200 м, дБА
Ст. Столбовая	6,0	6,4	14,5
Ст. Путепровод	8,9	8,9	12,9
Ст. Бугач	4,3	11,4	15,7
Среднее значение	6,4	8,9	14,3
Стандартное отклонение	2,3	2,5	1,4
Коэффициент вариации	36,3	28,1	9,8

*К строчной перпендикулярной застройке* относятся участки:

- Ст. Детская;
- Марьино Роцца (северный участок);
- Ст. Серп и Молот;
- Ст. Куровская;
- пл. Верхние котлы.

Схемы участков представлены на рисунках 3.2.8 – 3.2.12.

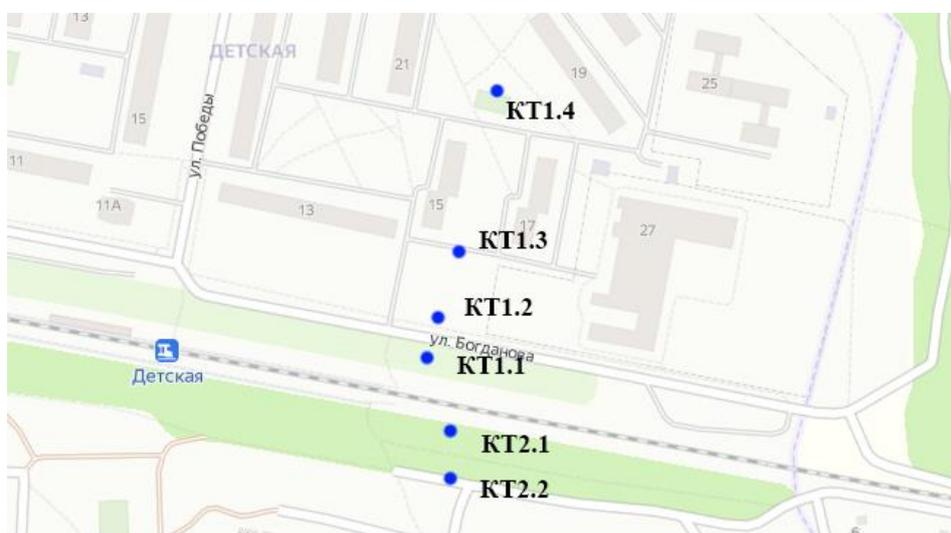


Рис. 3.2.8. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Детская (КТ1.1 – КТ1.4)



Рис. 3.2.9. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Марьяна Роцца

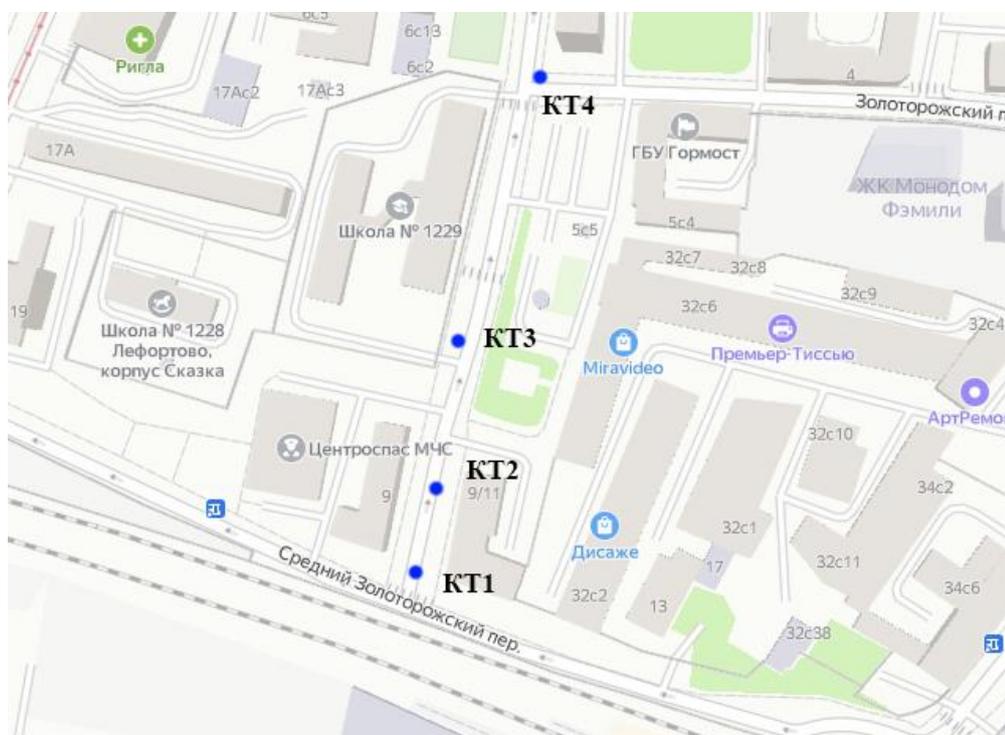


Рис. 3.2.10. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Серп и молот

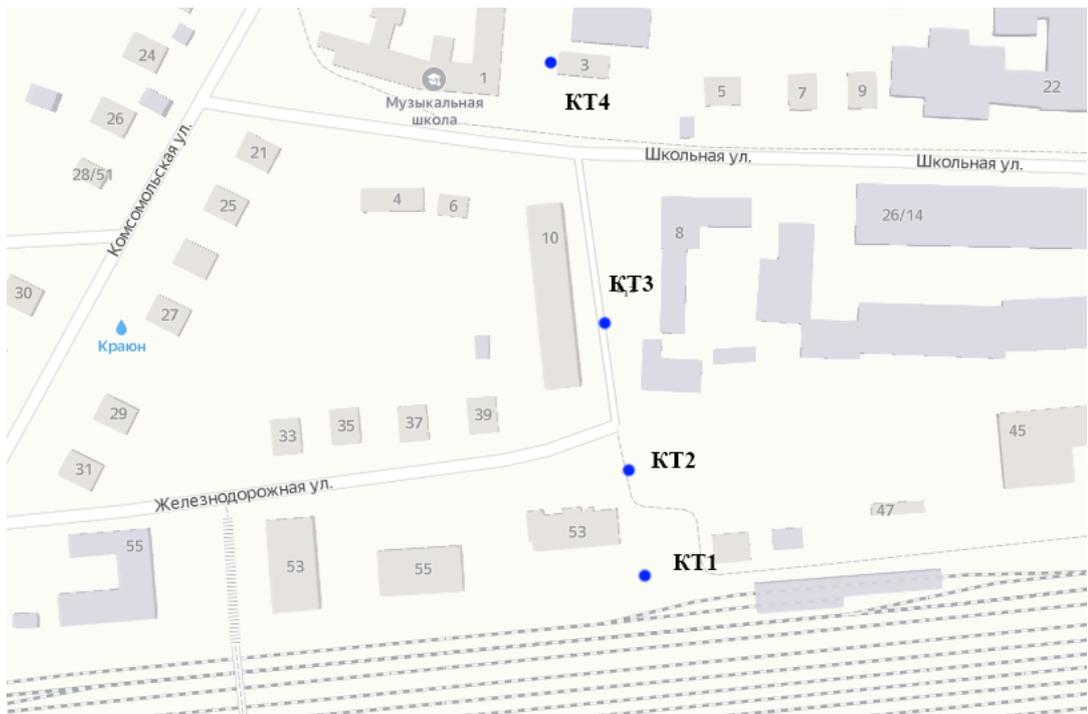


Рис. 3.2.11. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Куровская



Рис. 3.2.12. Схема расположения контрольных точек на участке пл. Верхние  
КОТЛЫ

На графиках, представленных на рисунках 3.2.13 – 3.2.15 показаны значения затуханий шума при распространении с 25 до 50 м, с 50 до 100 м и со 100 до 200 м.

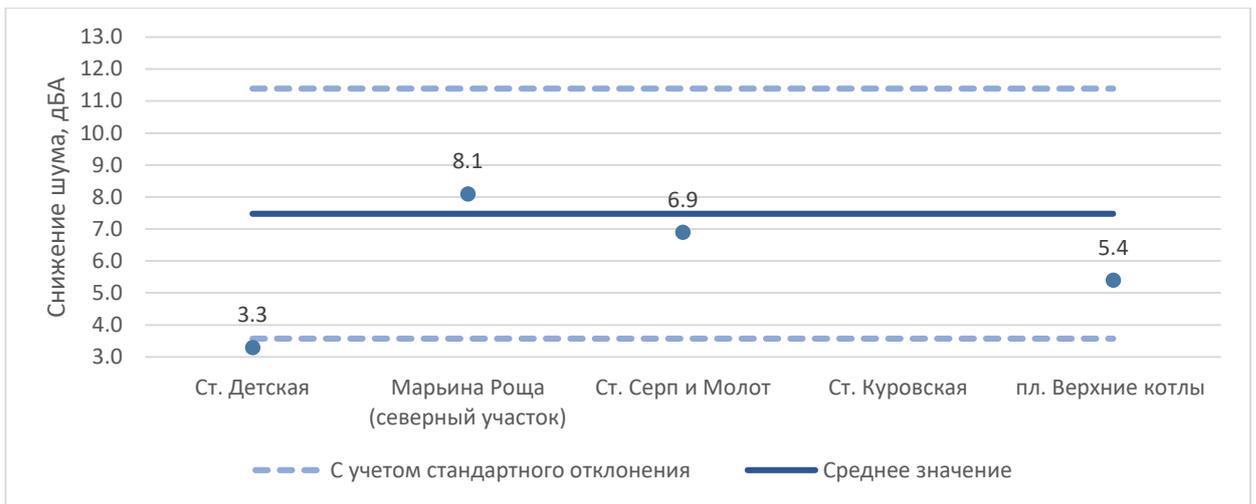


Рис. 3.2.13. Снижение шума при распространении с 25 до 50 м

Самое высокое снижение шума на участке ст. Куровское обусловлено наличием заборов и зеленых насаждений на пути распространения шума. В остальных случаях снижение шума обусловлено затуханием в свободном поле, либо уменьшением угла видимости.

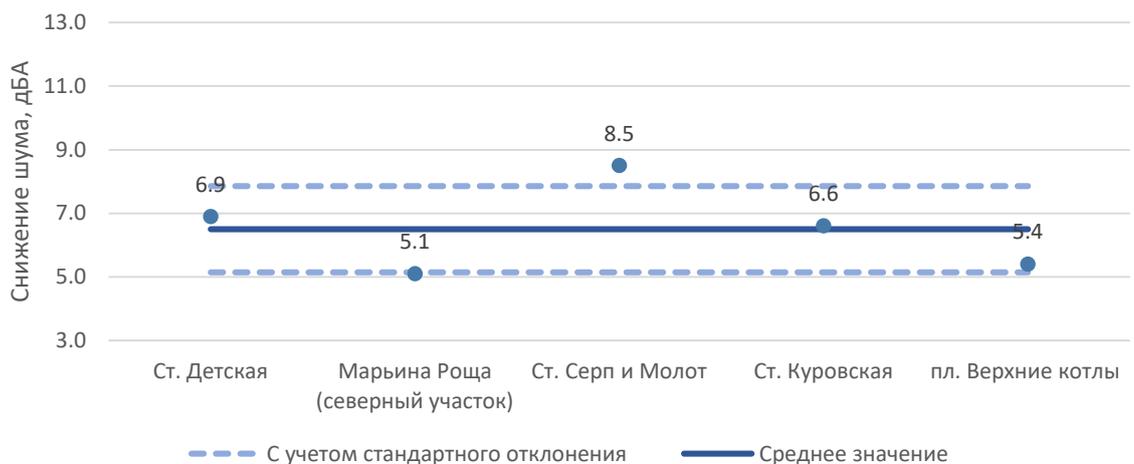


Рис. 3.2.14. Снижение шума при распространении с 50 до 100 м

На всех участках, кроме ст. Детская затухание обусловлено затуханием в сформировавшемся строчном типе застройке.

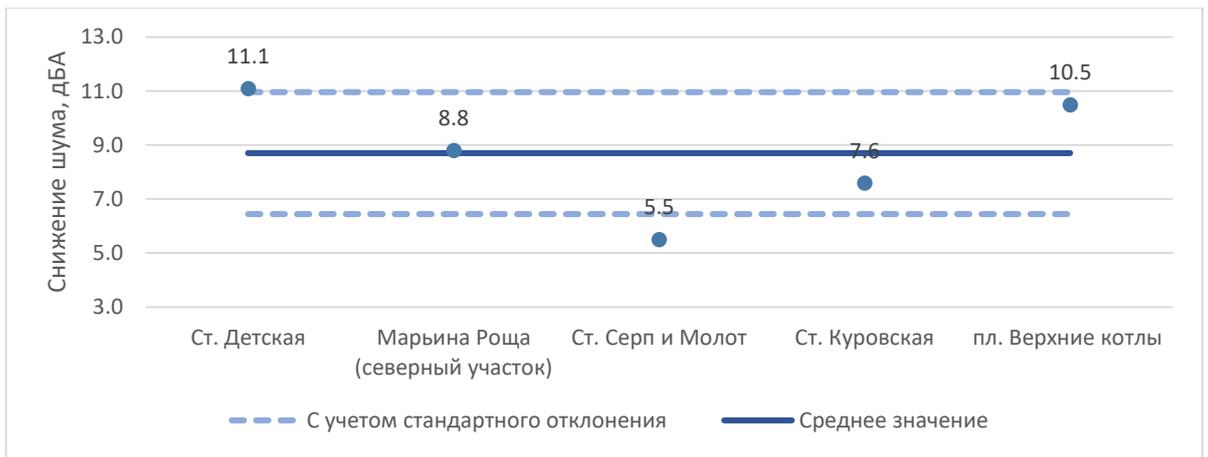


Рис. 3.2.15. Снижение шума при распространении со 100 до 200 м

Начиная со 100 м тип застройки одинаков на всех участках. Низкие значения затухания звука на ст. Серп и молот обусловлены большим расстоянием между зданиями слева и справа от расчетных точек.

В таблице 3.2.2 представлены затухания шума на данных участках, полученные в ходе измерений и расчетов.

Таблица 3.2.2. Затухания шума в строчной перпендикулярной застройке

Участки	Затухание 25-50 м, дБА	Затухание 50-100 м, дБА	Затухание 100-200 м, дБА
Ст. Детская	3,3	6,9	11,1
Марьяна Роща (северный участок)	8,1	5,1	8,8
Ст. Серп и Молот	6,9	8,5	5,5
Ст. Куровская	13,7	6,6	7,6
пл. Верхние котлы	5,4	5,4	10,5
Среднее значение	7,5	6,5	8,7
Стандартное отклонение	3,9	1,4	2,3
Коэффициент вариации	52,3	20,8	26,0

**К периметральной застройке** относятся следующие участки, на которых проводились измерения:

- ст. Матвеевская – ст. Очаково;
- Пос. Железнодорожный;
- Пл. Маленковская.

Схемы расположения контрольных точек на участках показаны на рисунках 3.2.16 – 3.2.18.



Рис. 3.2.16. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Матвеевская – ст. Очаково

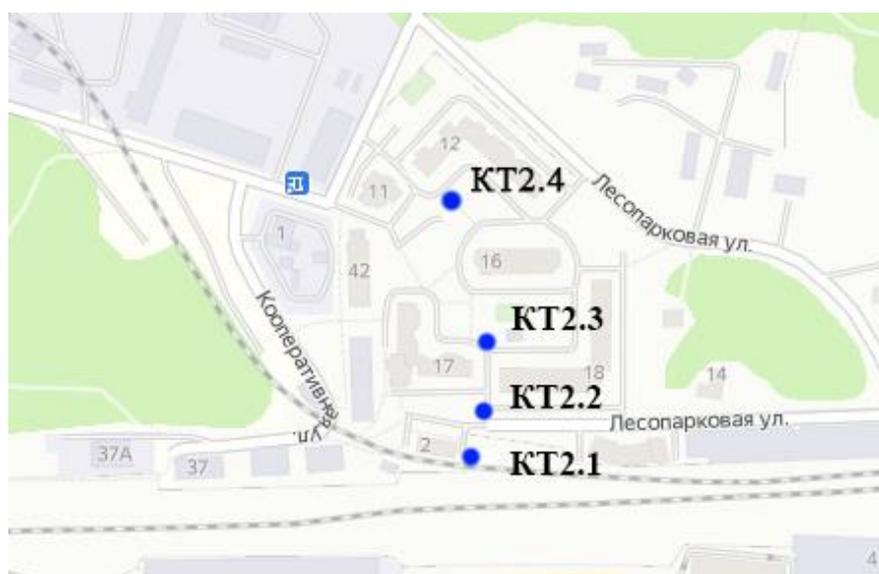


Рис. 3.2.17. Схема расположения контрольных точек на участке пос. Железнодорожный

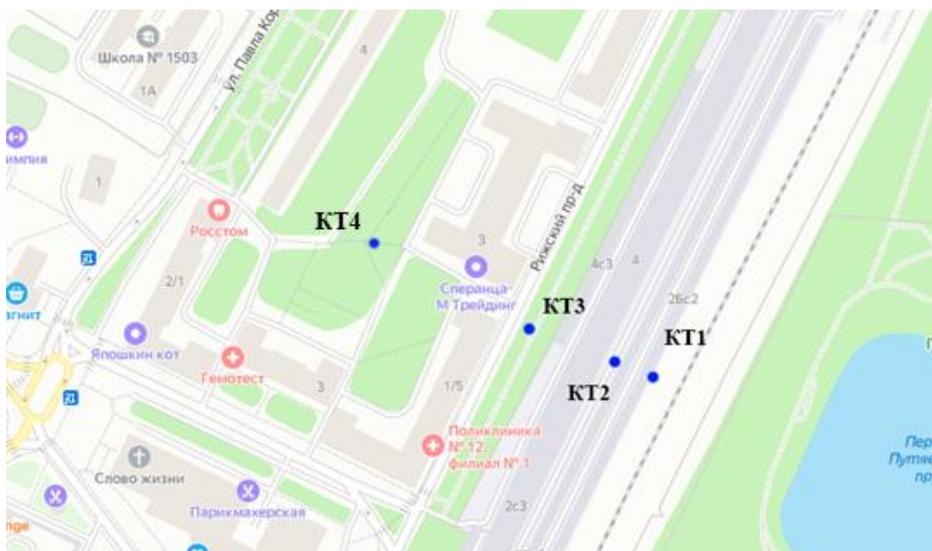


Рис. 3.2.18. Схема расположения контрольных точек на участке пл. Маленковская

На графиках, представленных на рисунках 3.2.19 – 3.2.21 показаны значения затуханий шума при распространении с 25 до 50 м, с 50 до 100 м и со 100 до 200 м.

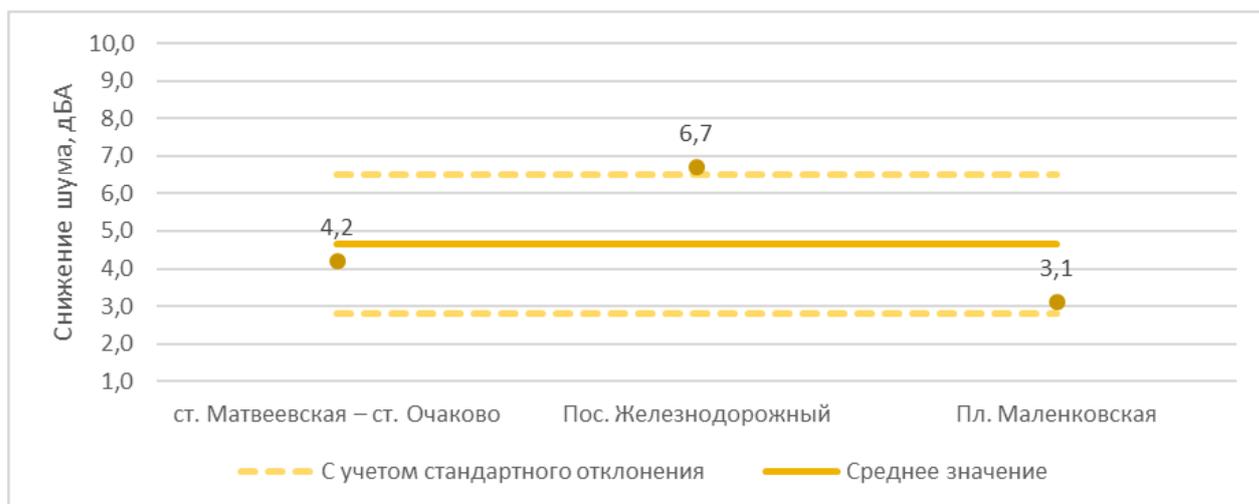


Рис. 3.2.19. Снижение шума при распространении с 25 до 50 м

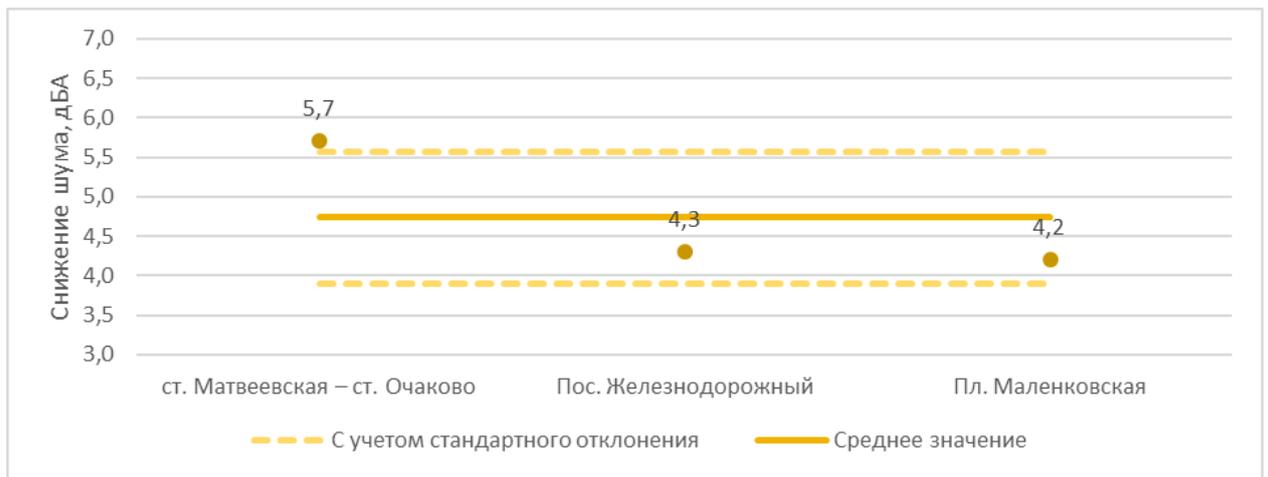


Рис. 3.2.20. Снижение шума при распространении с 50 до 100 м

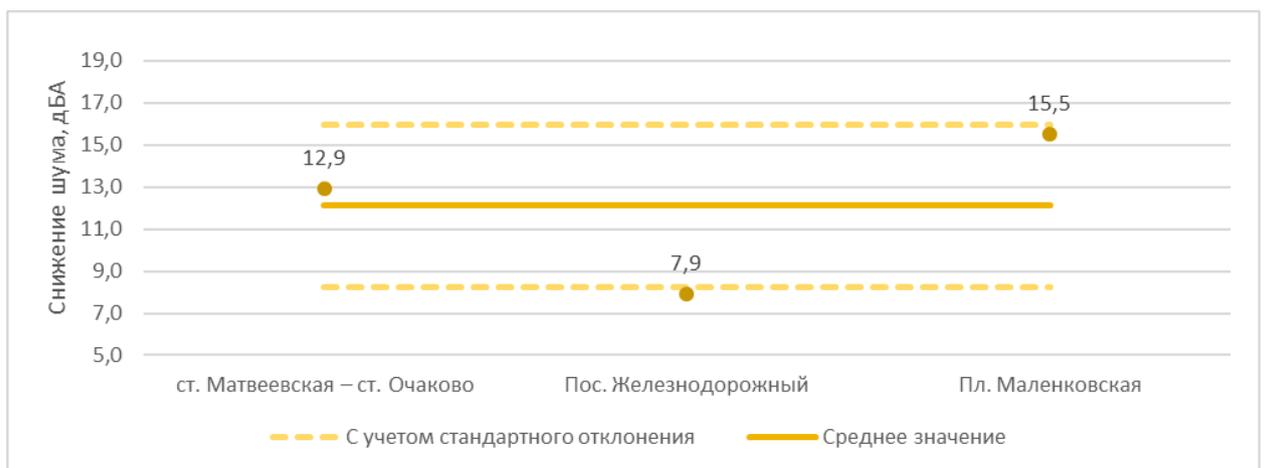


Рис. 3.2.21. Снижение шума при распространении со 100 до 200 м

В таблице 3.2.3 представлены затухания шума на данных участках, полученные в ходе измерений и расчетов.

Таблица 3.2.3. Затухания шума в периметральной застройке

Участки	Затухание 25-50 м, дБА	Затухание 50-100 м, дБА	Затухание 100-200 м, дБА
ст. Матвеевская – ст. Очаково	4,2	5,7	12,9
пос. Железнодорожный	6,7	4,3	7,9
пл. Маленковская	3,1	4,2	15,5
Среднее значение	4,7	4,7	12,1
Стандартное отклонение	1,8	0,8	3,9
Коэффициент вариации	39,5	17,7	31,9

**К ленточной застройке** относятся следующие участки:

- Ст. Лосиноостровская;
- Ст. Северное шоссе – ст. Бугач.

Схемы расположения контрольных точек на участках показаны на рисунках 3.2.22 – 3.2.23.



*Рис. 3.2.22.* Схема расположения контрольных точек на участке ст. Лосиноостровская



*Рис. 3.2.23.* Схема расположения контрольных точек на участке ст. Северное шоссе – ст. Бугач

На графиках, представленных на рисунках 3.2.24 – 3.2.26 показаны значения затуханий шума при распространении с 25 до 50 м, с 50 до 100 м и со 100 до 200 м.

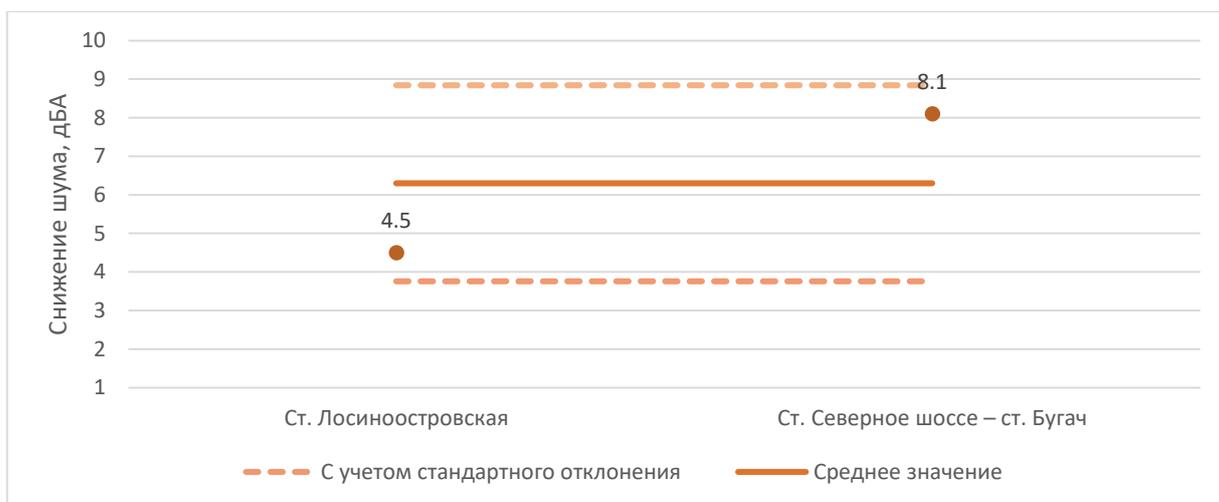


Рис. 3.2.24. Снижение шума при распространении с 25 до 50 м

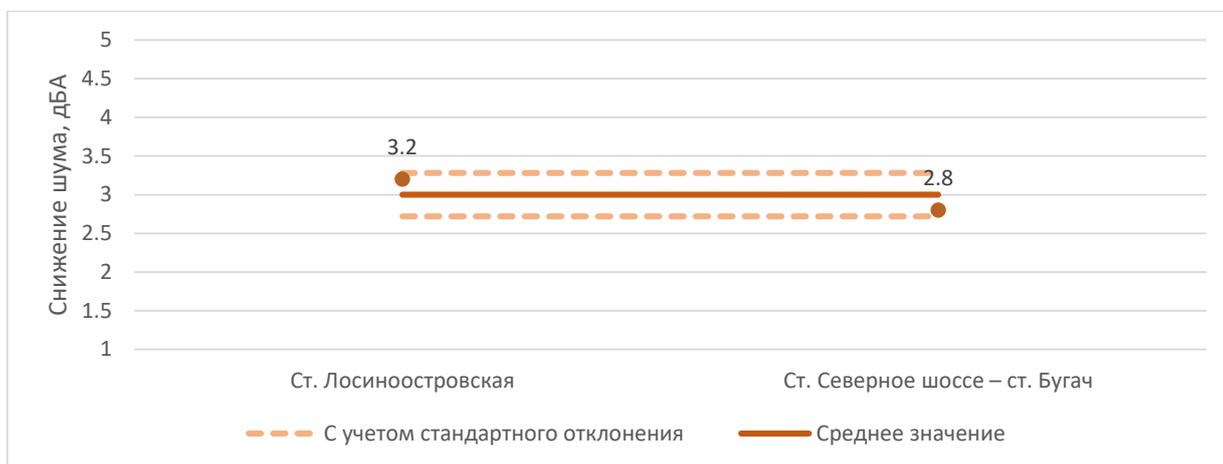


Рис. 3.2.25. Снижение шума при распространении с 50 до 100 м

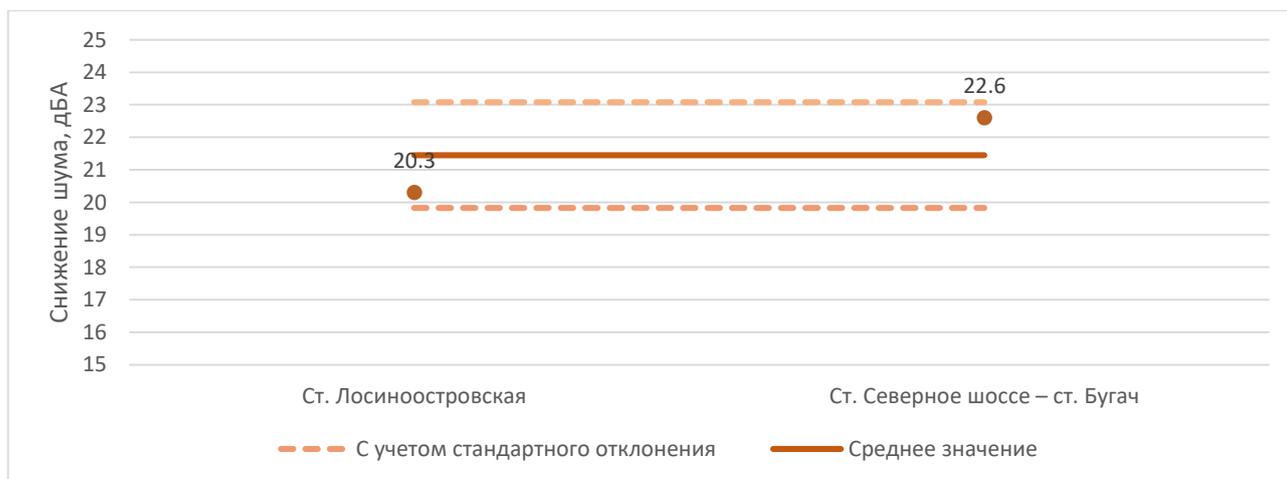


Рис. 3.2.26. Снижение шума при распространении со 100 до 200 м

Затухание звука на обоих участках в первую очередь обусловлено затуханием за длинным, высоким зданием, выполняющим роль экранирующего сооружения.

В таблице 3.2.4 представлены затухания шума на данных участках, полученные в ходе измерений и расчетов.

Таблица 3.2.4. Затухания шума в ленточной застройке

Участки	Затухание 25-50 м, дБА	Затухание 50-100 м, дБА	Затухание 100-200 м, дБА
Ст. Лосиноостровская	4,5	3,2	20,3
Ст. Северное шоссе – ст. Бугач	8,1	2,8	22,6
Среднее значение	6,3	3,0	21,5
Стандартное отклонение	2,5	0,3	1,6
Коэффициент вариации	40,4	9,4	7,6

По результатам анализа был сделан вывод, что дальнейшую оценку следует проводить для затуханий, полученных на расстояниях 100 – 200 м, так как до 100 м тип застройки в большинстве случаев еще не сформирован и наиболее достоверные выборки по затуханиям получены именно для 100 – 200 м. Для увеличения выборки были также проведены измерения на трех дополнительных участках Октябрьской железной дороги на расстояниях 100 – 200 м от железной дороги. Дополнительные участки были взяты для ленточной застройки (ст. Воздухоплавательный парк, ст. Проспект Славы), строчной перпендикулярной застройки (ст. Новая деревня), строчной параллельной (ст. Девяткино, ст. Новая Охта) и периметральной застройки (ст. Ленская).

В случае строчной параллельной застройки снижение шума происходит за счет экранирования первым эшелонм зданий. Наибольшее снижение будет достигнуто на территории ближе к центру зданий, по краям за счет боковой дифракции снижение шума будет ниже. В строчной перпендикулярной застройке эффект экранирования шума зданиями отсутствует, однако снижение все же будет наблюдаться за счет ограничения угла видимости источника шума [138], также

будет иметь место эффект переотражения звука между двумя зданиями. В случае периметральной застройки снижение шума обусловлено экранированием зданиями с трех сторон, а на территорию внутреннего двора шум проникает через проемы между зданиями. В случае ленточной застройки здание первого эшелона является экранирующим сооружением для все последующей застройки, боковая дифракция в данном случае не оказывает такого существенного влияния как в случае строчной параллельной застройки. [139]

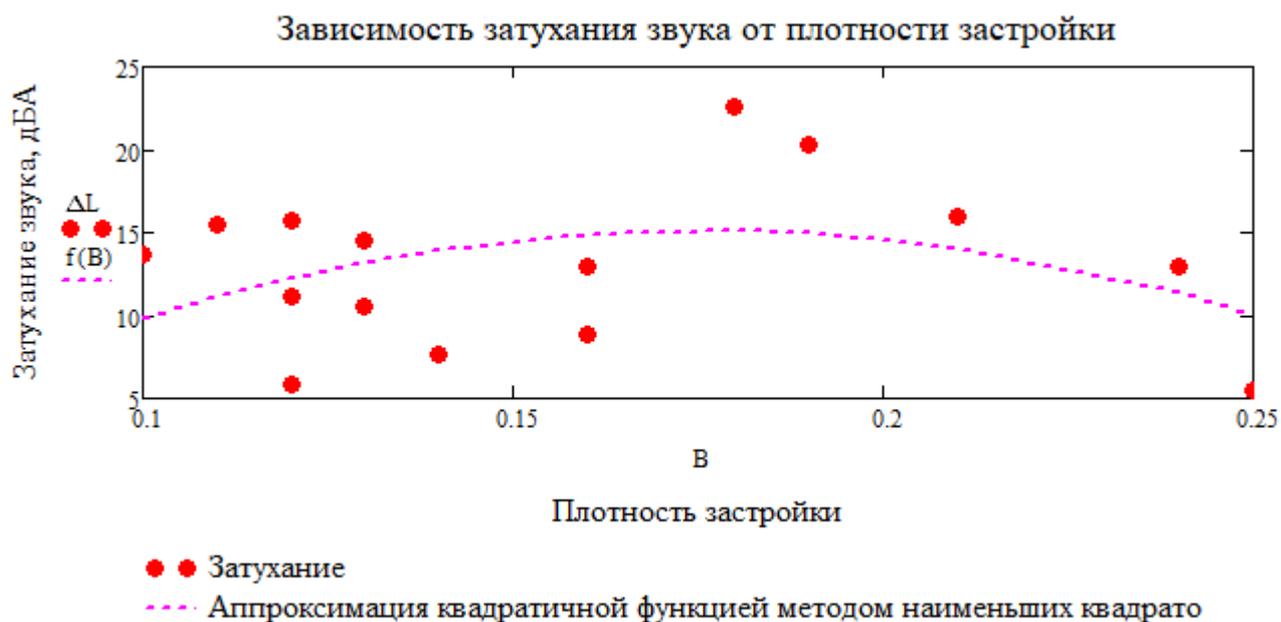
В соответствии с ГОСТ 31295 основным параметром, от которого зависит затухание звук в застройке является ее плотность. Плотность застройки, это отношения площади всех участков под домами к площади всего рассматриваемого участка. В таблице 3.2.5 представлены значения плотности застройки для различных участков.

Таблица 3.2.5. Плотность застройки и затухания звука на различных участках

Участок	Общая площадь участка (Sобщ)	Площадь участков под домами (Sзастр)	Плотность (Sзастр/Sобщ)	Затухание
Строчная параллельная застройка				
Ст. Столбовая	10000	1300	0,13	14,5
Ст. Путепровод	17000	2774	0,16	12,9
Ст. Бугач	20000	2282	0,12	15,7
Ст. Девяткино	13000	1240	0,10	13,7
Ст. Новая Охта	13000	1387	0,11	15,5
Среднее	-	-	0,12	14,5
Строчная перпендикулярная застройка				
Ст. Детская	12000	1534	0,12	11,1
Марьино Роща (северный участок)	18000	2933	0,16	8,8
Ст. Серп и Молот	8400	2104	0,25	5,5
Ст. Новая деревня	10300	2610	0,25	6,2
Ст. Куровская	8000	1090	0,14	7,6
пл. Верхние котлы	7000	978	0,13	10,5
Среднее	-	-	0,17	8,3
Периметральная застройка				
ст. Матвеевская – ст. Очаково	12000	2850	0,24	12,9
Ст. Ланская	7500	1737	0,25	14,4

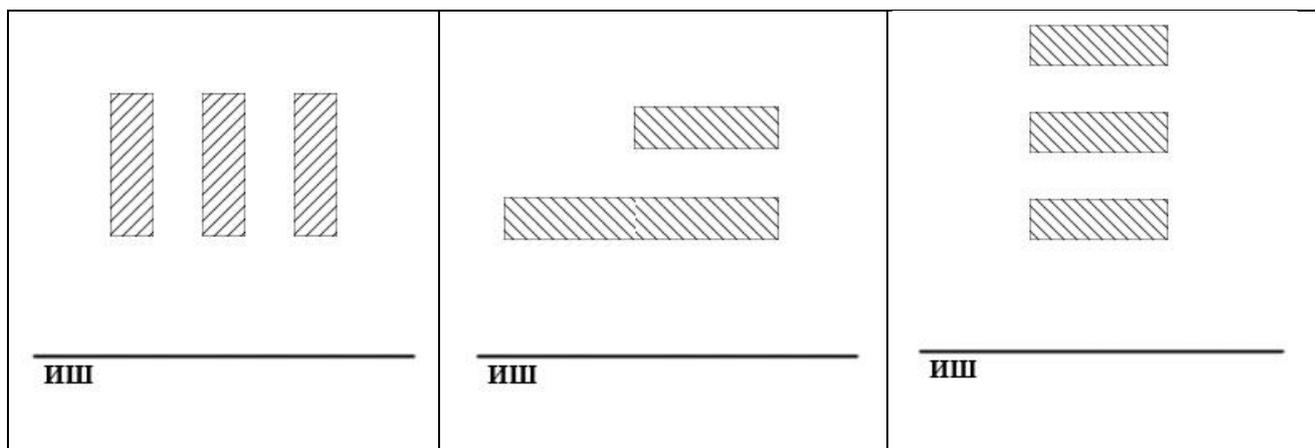
Участок	Общая площадь участка (Sобщ)	Площадь участков под домами (Sзастр)	Плотность (Sзастр/Sобщ)	Затухание
пос. Железнодорожный	17000	2026	0,12	5,8
пл. Маленковская	24000	5253	0,21	16,0
Среднее	-	-	0,20	12,3
Ленточная застройка				
Ст. Лосиноостровская	41000	7888	0,19	20,3
Ст. Воздухоплавательный парк	23000	2990	0,13	21,2
Ст. Проспект Славы	19000	2054	0,11	21,0
Ст. Северное шоссе – ст. Бугач	19000	3380	0,18	22,6
Среднее	-	-	0,15	21,3

На рисунке 3.2.27 показан график полученной зависимости затухания от плотности. По данному графику можно сделать вывод, что затухание звука не имеет ярко выраженной зависимости от плотности, и на него влияют другие параметры.



*Рис. 3.2.27* График зависимости затухания звука в застройке ( $\Delta L$ ) от ее плотности

Например, в случаях, показанных на рисунке 3.2.28 плотность будет одинаковой, но затухание будет разное.



*Рис. 3.2.28* Примеры различного расположения зданий в застройке с одинаковой плотностью

В связи с этим был сделан вывод, что затухание звук в застройке может зависеть от других ее параметров. Было выдвинуто предположение, о том, что существует зависимость между затуханием звука и отношением длин сторон зданий (отношением длины стороны здания параллельной источнику шума и длины стороны здания перпендикулярной источнику шума). Данное предположение основано на том, что основное снижение звука на территории застройки происходит за счет экранирования звука протяженными зданиями и чем длиннее фасад здания, обращенный к источнику шума, там больше эффект экранирования.

В таблице 3.2.6 представлены значения отношений длин сторон зданий и затухания звука.

*Таблица 3.2.6.* Отношения длин сторон зданий и затухания звука на различных участках

Участок	Средняя длина сторон зданий параллельных источнику шума (a)	Средняя длина сторон зданий перпендикулярных источнику шума (b)	Отношения длин сторон зданий (a/b)	Затухание
Строчная параллельная застройка				
Ст. Столбовая	65	10	6,5	14,5
Ст. Путепровод	60	15	4,0	12,9
Ст. Бугач	92	13	7,1	15,7

Участок	Средняя длина сторон зданий параллельных источнику шума (а)	Средняя длина сторон зданий перпендикулярных источнику шума (b)	Отношения длин сторон зданий (a/b)	Затухание
Ст. Девяткино	80	15	5,3	13,7
Ст. Новая Охта	89	15	5,9	15,5
Среднее	-	-	5,8	14,5
Строчная перпендикулярная застройка				
Ст. Детская	13	59	0,2	11,1
Марьино Роцца (северный участок)	13	45	0,3	8,8
Ст. Серп и Молот	13	45	0,3	5,5
Ст. Новая деревня	13	85	0,2	6,2
Ст. Куровская	11	48	0,2	7,6
пл. Верхние котлы	14	24	0,6	10,5
Среднее	-	-	0,3	8,3
Периметральная застройка				
ст. Матвеевская – ст. Очаково	33	46	0,7	12,9
Ст. Ланская	45	25	1,8	14,4
пос. Железнодорожный	23	31	0,7	5,8
пл. Маленковская	81	36	2,3	16,0
Среднее	-	-	1,4	12,3
Ленточная застройка				
Ст. Лосиноостровская	258	26	9,9	20,3
Ст. Воздухоплавательный парк	145	16	9,1	21,2
Ст. проспект Славы	146	16	9,1	21,0
Ст. Северное шоссе – ст. Бугач	113	13	8,7	22,6
Среднее	-	-	9,2	21,3

На рисунке 3.2.28 показан график полученной зависимости затухания от отношения длин сторон зданий. Для сточной перпендикулярной застройки данное значение будет меньше единицы, для строчной параллельной и ленточной застройки – больше единицы. При значениях отношения длин сторон больше единицы наблюдается зависимость затухания звука от данного параметра, при значениях меньше единицы зависимость менее явная.

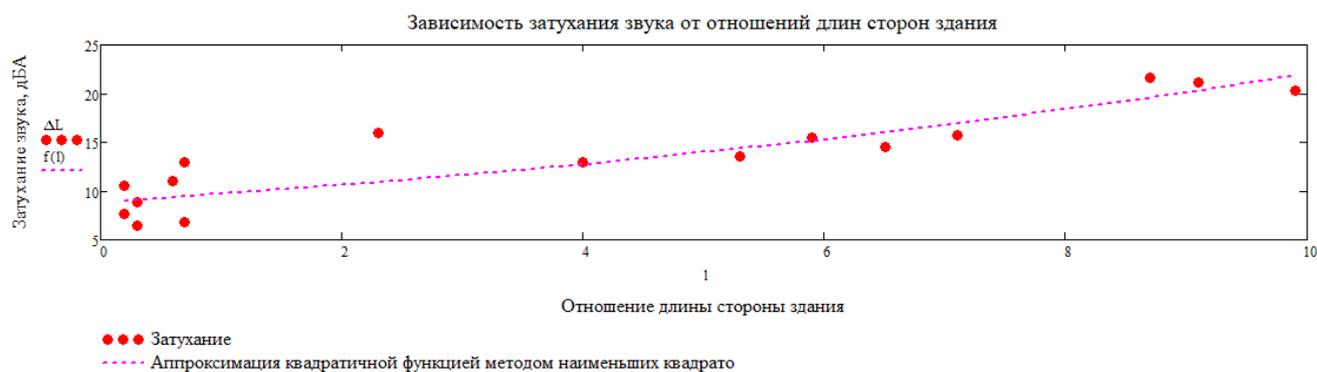


Рис. 3.2.28 График зависимости затухания звука в застройке ( $\Delta L$ ) от отношения длин сторон зданий

Вторым параметром, влияющим на затухание звука в застройке, было выделено отношение длины пролетов между домами к общей длине рассматриваемого участка, что в конечном итоге определяет ограничение угла видимости источника шума.

В таблице 3.2.7 представлены значения отношений длины пролетов между домами к общей длине рассматриваемого участка и затухания звука.

Таблица 3.2.7. Отношения длин пролетов между домами к общей длине участка и затухания звука на различных участках

Участок	Длина пролетов между домами (просв)	Общая длина рассматриваемого участка (общ)	Длина пролетов к общей длине	Затухание
Строчная параллельная застройка				
Ст. Столбовая	35	100	0,35	14,5
Ст. Путепровод	52	170	0,31	12,9
Ст. Бугач	17	200	0,29	15,7
Ст. Девяткино	45	130	0,35	13,7
Ст. Новая Охта	17	130	0,13	15,5
Среднее	-	-	0,29	14,5
Строчная перпендикулярная застройка				
Ст. Детская	94	120	0,78	11,1
Марьино Роца (северный участок)	141	180	0,78	8,8
Ст. Серп и Молот	53	84	0,63	5,5
Ст. Новая деревня	65	100	0,65	6,2
Ст. Куровская	47	80	0,59	7,6

Участок	Длина проветров между домами (просв)	Общая длина рассматриваемого участка (общ)	Длина проветров к общей длине	Затухание
пл. Верхние котлы	41	70	0,58	10,5
Среднее	-	-	0,67	8,3
Периметральная застройка				
ст. Матвеевская – ст. Очаково	10	120	0,08	12,9
Ст. Ланская	19	105	0,18	14,4
пос. Железнодорожный	89	170	0,52	5,8
пл. Маленковская	18	240	0,08	16,0
Среднее	-	-	0,22	12,3
Ленточная застройка				
Ст. Лосиноостровская	5	410	0,01	20,3
Ст. Воздухоплавательный парк	4	293	0,01	21,2
Ст. Проспект Славы	3	190	0,01	21,0
Ст. Северное шоссе – ст. Бугач	15	190	0,08	22,6
Среднее	-	-	0,03	21,3

На рисунке 3.2.29 показан график полученной зависимости затухания от отношения длин проветров между домами к общей длине рассматриваемого участка. Из графика следует, что имеется зависимость затухания звука в застройке от отношения длин проветров между домами к общей длине рассматриваемого участка.

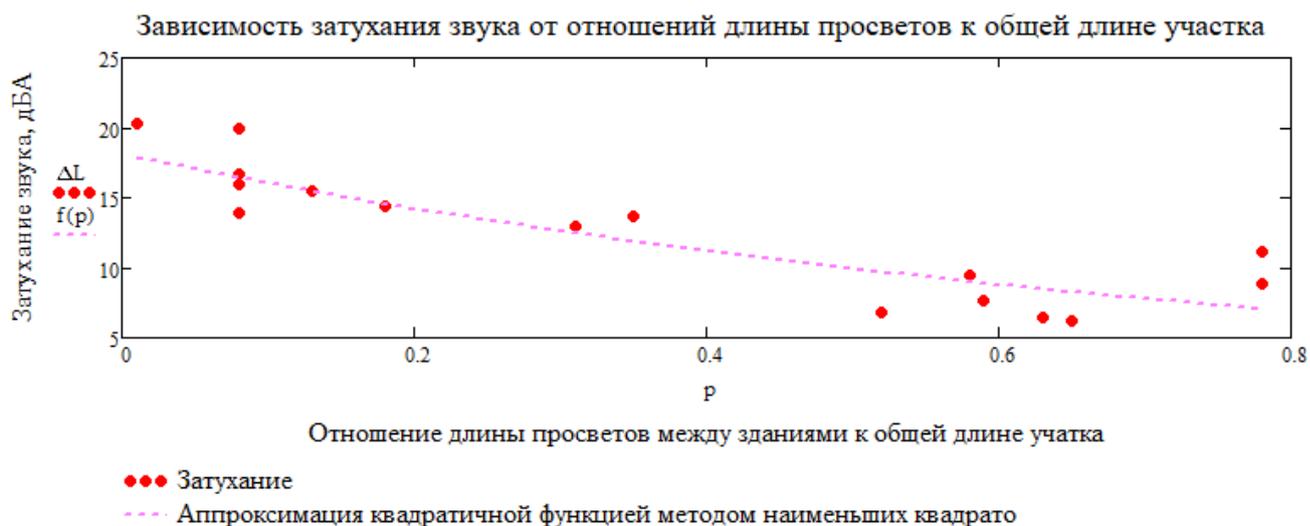


Рис. 3.2.29 График зависимости затухания звука в застройке ( $\Delta L$ ) от отношения длин пролетов между домами к общей длине участка

### 3.3. Исследования распространения шума в сельской застройке

Для сельской застройки, на территории которой проводились измерения, характерно два типа расположения домов, это плотная застройка, при которой дома стоят достаточно плотными рядами образуя «линии» застройки и редкая хаотичная застройка, при которой расстояние между соседними домами значительное.

К первому типу, плотной застройке можно отнести следующие участки:

- ст. Детская;
- ст. Кубинка (СНТ Авиатор);
- ст. Голоконцево;
- СНТ Октябрь;
- ст. Абакан – ст. Абакан сортировочная;
- ст. Абинская;
- ст. ЗИП;
- ст. Кавказская;
- ст. Невинномысская;
- ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный.

Схемы некоторых участков показаны на рисунках 3.3.1 – 3.3.4.

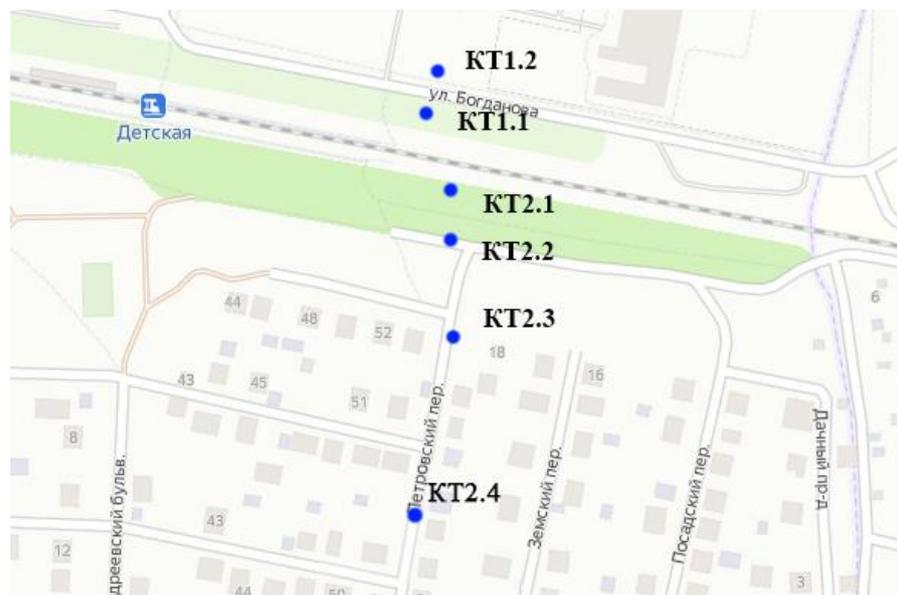


Рис. 3.3.1. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Детская (КТ2.1 – КТ2.4)

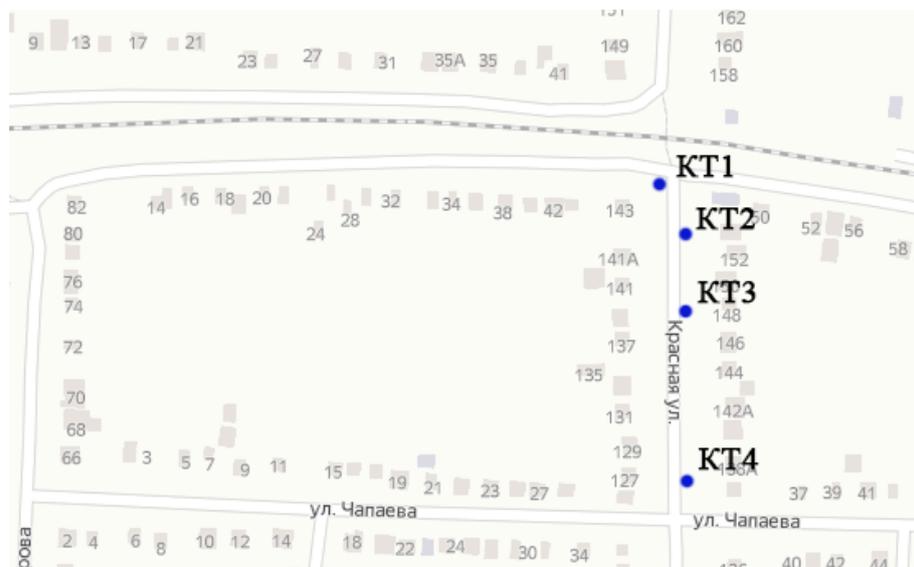


Рис. 3.3.2. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Абинская

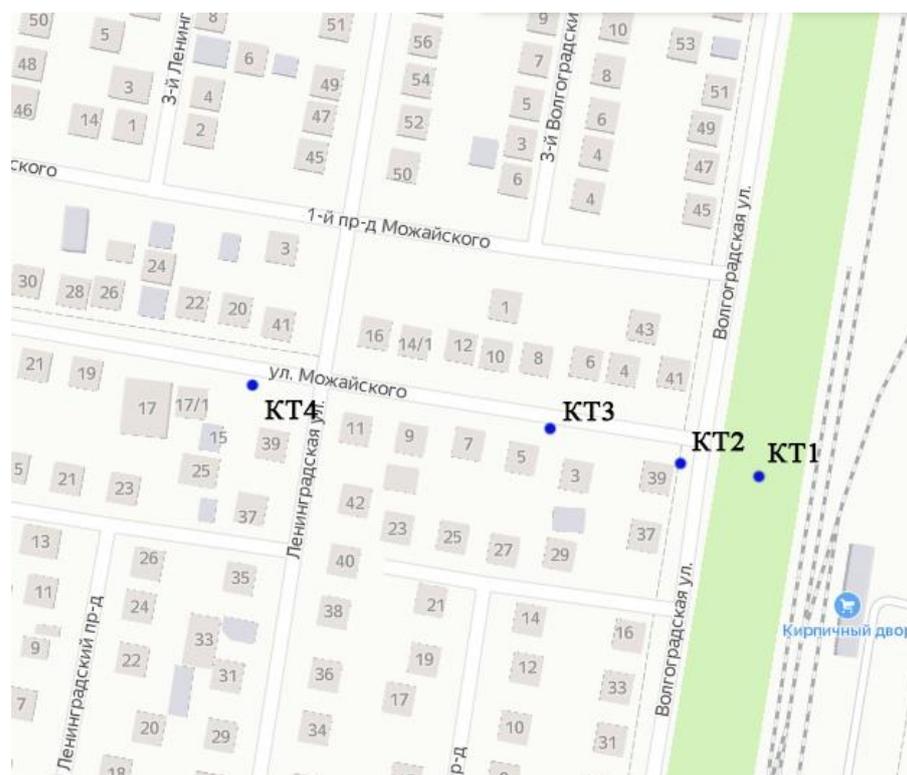


Рис. 3.3.3. Схема расположения контрольных точек на участке ст. ЗИП



Рис. 3.3.4. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Рабочий  
Городок – ст. Ростов Главный

На графиках, представленных на рисунках 3.3.5 – 3.3.7 показаны значения затуханий шума при распространении с 25 до 50 м, с 50 до 100 м и со 100 до 200 м.

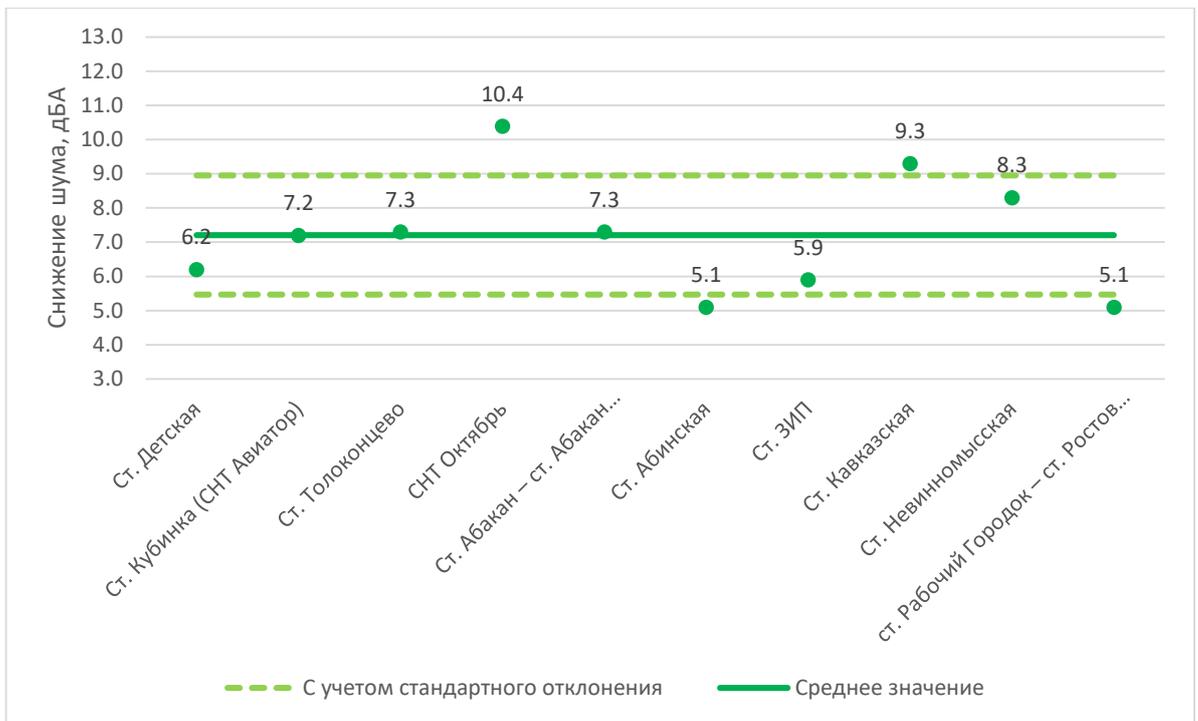


Рис. 3.3.5. Снижение шума при распространении с 25 до 50 м

Снижение шума при его распространении с 25 до 50 м обусловлено в основном затуханием звука в свободном пространстве, затуханием в листве, а также затуханием над акустически мягкой поверхностью, которая характерна для сельской местности. Наибольшие затухания наблюдаются на участке СНТ Октябрь где справа и слева от расчетных точек имеются заборы и ст. Кавказская, где снижение звука обусловлено наличием экранирующих сооружений (гаражей), а также наличием акустической тени от насыпи, на которой проходят железнодорожные пути.

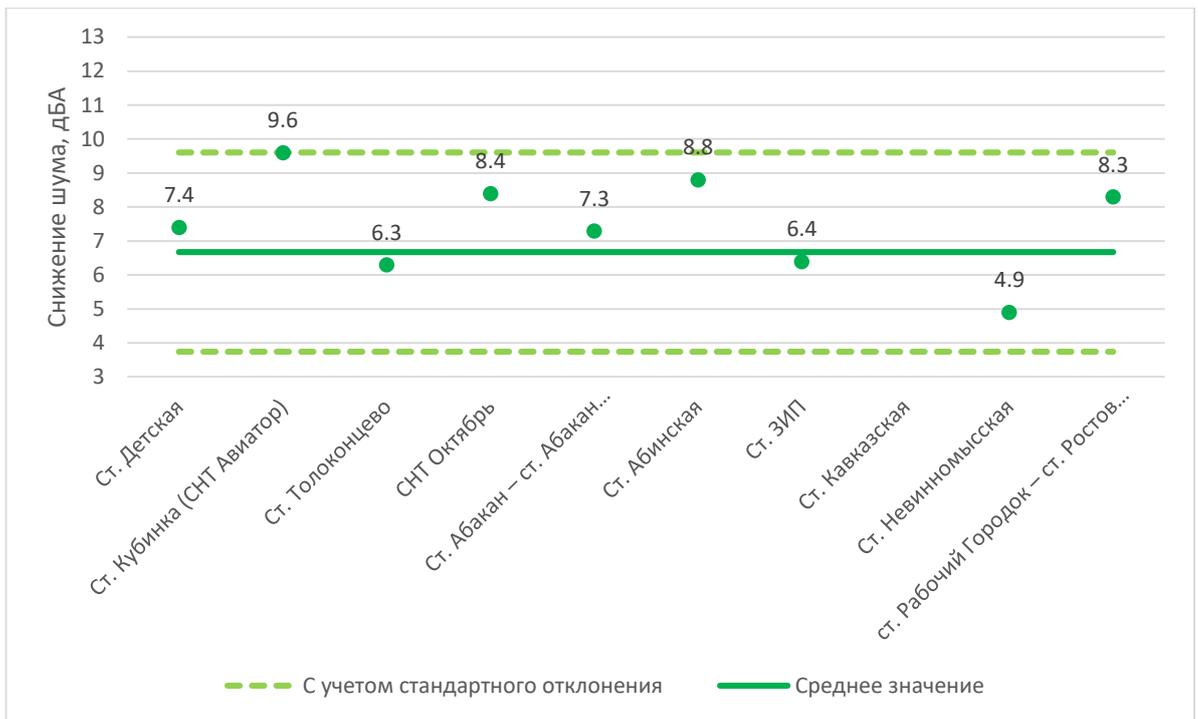


Рис. 3.3.6. Снижение шума при распространении с 50 до 100 м

Снижение шума при распространении с 50 до 100 м обусловлено снижением шума в застройке, в том числе заборами, которые огораживают участки. Исключение составляет участок ст. Кавказская, где снижения шума не наблюдается за счет низких уровней звука в точке на расстоянии 50 м, обусловленных наличием акустической тени.

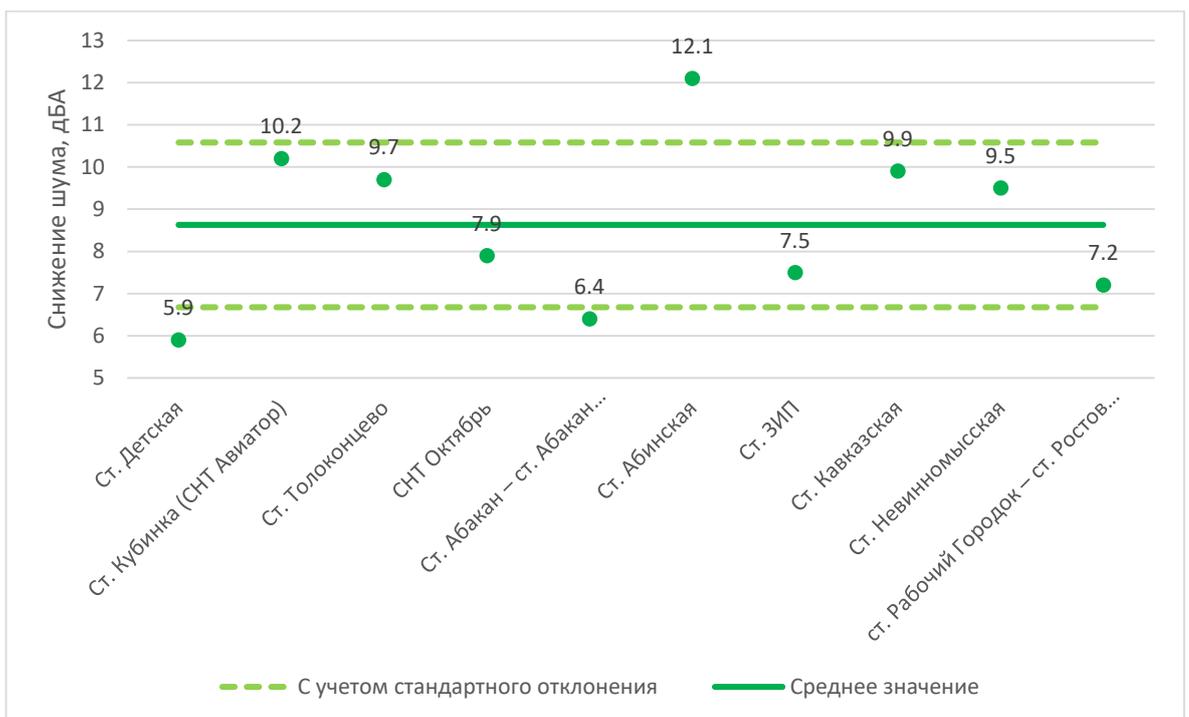


Рис. 3.3.7. Снижение шума при распространении со 100 до 200 м

Как и в предыдущем случае снижение шума при распространении со 100 м до 200 м обусловлено затуханием при распространении в застройке. Среднее значение затухания равно 8,6 дБА, коэффициент вариации для данной выборки составляет 22,6%, что позволяет считать разброс в выборке небольшим, а полученные данные информативными.

В таблице 3.3.1 представлены затухания шума на данных участках, полученные в ходе измерений и расчетов.

*Таблица 3.3.1* Затухания шума в плотной сельской застройке

Участки	Затухание 25-50 м, дБА	Затухание 50-100 м, дБА	Затухание 100-200 м, дБА
Ст. Детская	6,2	7,4	5,9
Ст. Кубинка (СНТ Авиатор)	7,2	9,6	10,2
Ст. Толоконцево	7,3	6,3	9,7
СНТ Октябрь	10,4	8,4	7,9
Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	7,3	7,3	6,4
Ст. Абинская	5,1	8,8	12,1
Ст. ЗИП	5,9	6,4	7,5
Ст. Кавказская	9,3	-0,7	9,9
Ст. Невинномысская	8,3	4,9	9,5
ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	5,1	8,3	7,2
Среднее значение	7,2	6,7	8,6
Стандартное отклонение	1,7	2,9	1,9
Коэффициент вариации	24,2	44,0	22,6

К сельской застройке с редкими зданиями относятся участки:

- ст. Манихино–1;
- СНТ Клязьма;
- ст. Варениковская;
- ст. Милованово.

Схемы расположения контрольных точек на участках показаны на рисунках 3.3.8 – 3.3.11.



Рис. 3.3.8. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Манихино–1

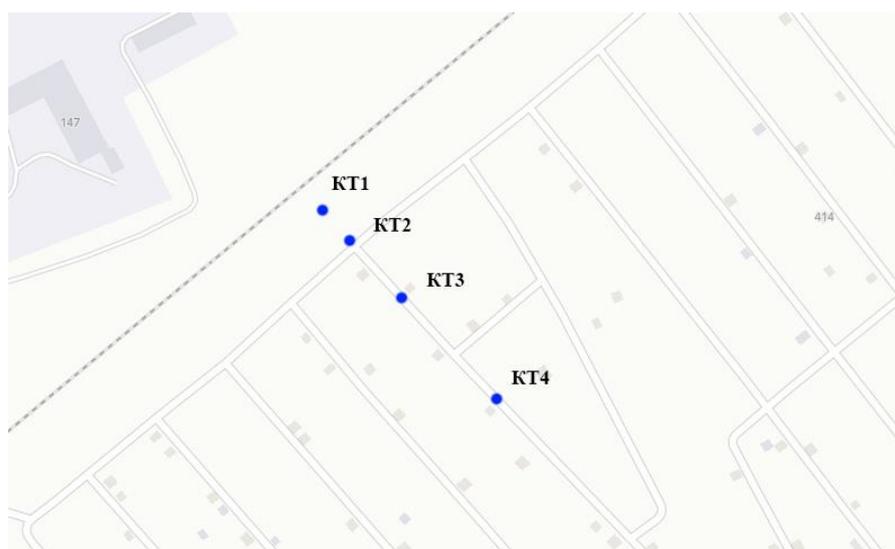


Рис. 3.3.9. Схема расположения контрольных точек на участке СНТ Клязьма



Рис. 3.3.10. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Варениковская

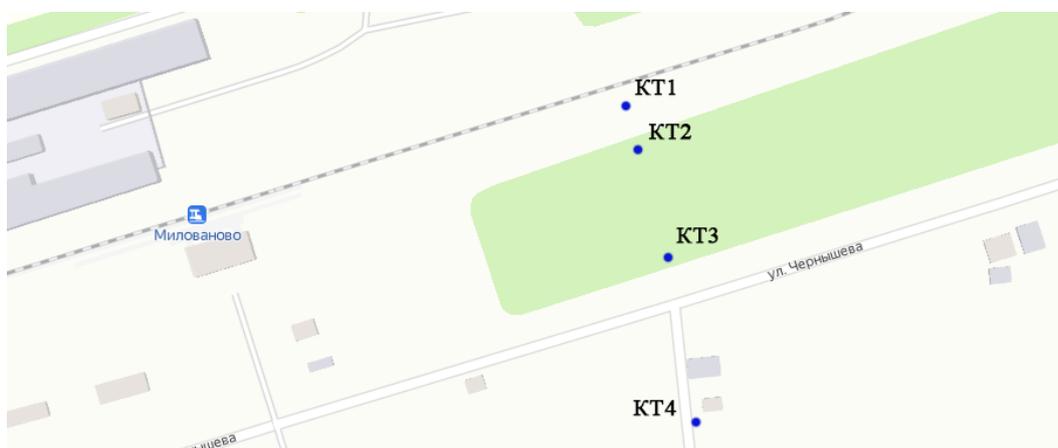


Рис. 3.3.11. Схема расположения контрольных точек на участке ст. Милованово

На графиках, представленных на рисунках 3.3.12 – 3.3.14 показаны значения затуханий шума при распространении с 25 до 50 м, с 50 до 100 м и со 100 до 200 м.

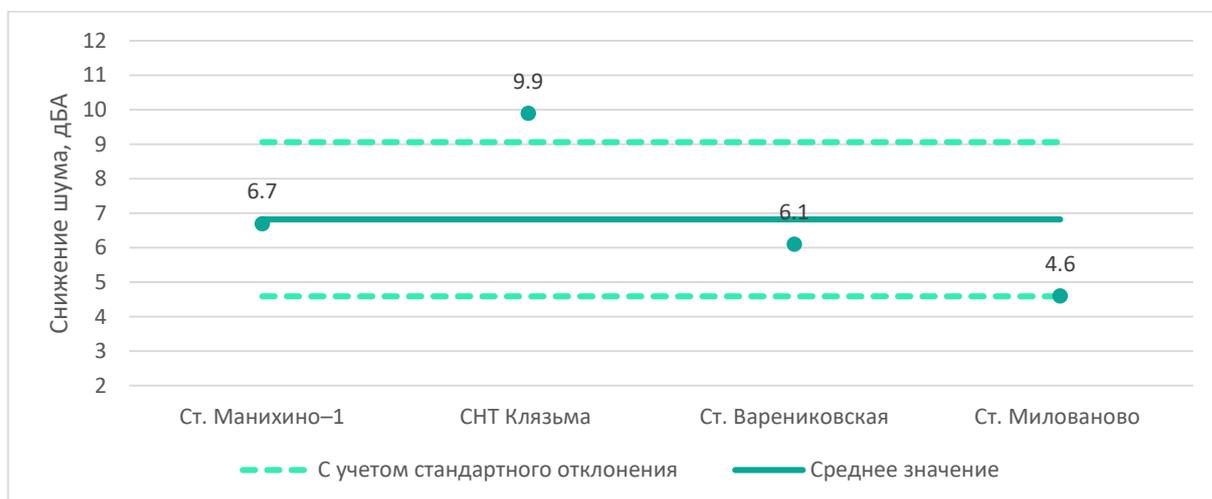


Рис. 3.3.12. Снижение шума при распространении с 25 до 50 м

Наибольшее снижение шума наблюдается на участке СНТ Клязьма, где затухание звука обусловлено наличием густых зеленых насаждений.

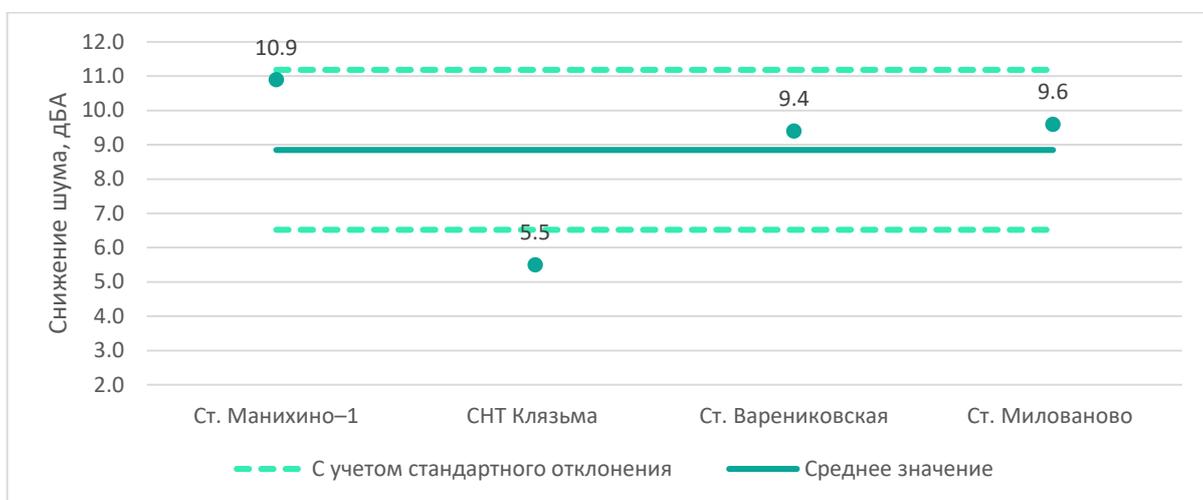


Рис. 3.3.13. Снижение шума при распространении с 50 до 100 м

Наименьшее снижение шума наблюдается на участке СНТ Клязьма, где затухание звука обусловлено затуханием в свободном пространстве.

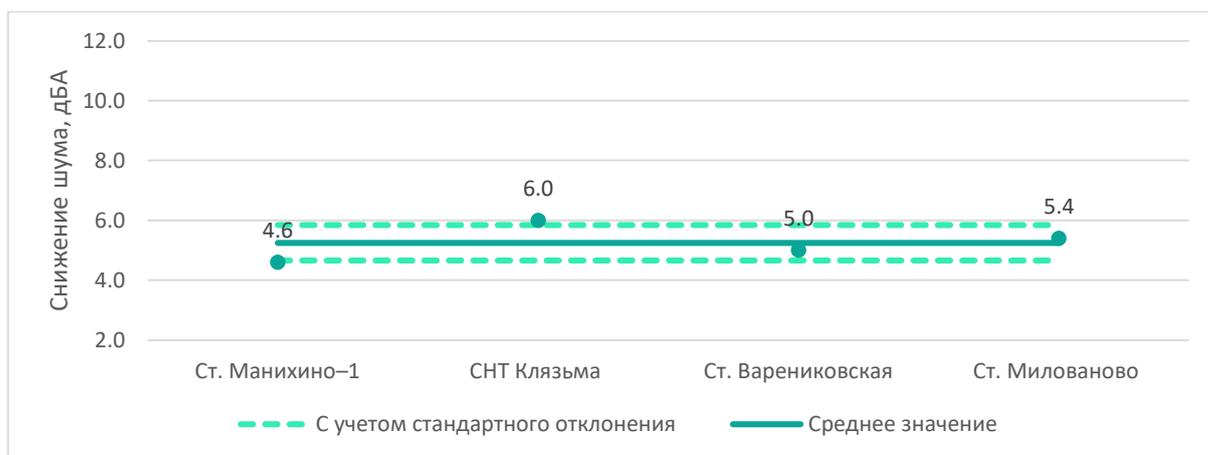


Рис. 3.3.14. Снижение шума при распространении со 100 до 200 м

На всех участках снижение шума на всем пути его распространения обусловлено в основном затуханием звука в свободном пространстве, затуханием в листве, а также затуханием над акустически мягкой поверхностью, затухание за счет экранирования в данном случае минимально.

В таблице 3.3.2 представлены затухания шума на данных участках, полученные в ходе измерений и расчетов.

Таблица 3.3.2 Затухания шума в редкой сельской застройке

Участки	Затухание 25-50 м, дБА	Затухание 50-100 м, дБА	Затухание 100-200 м, дБА
Ст. Манихино–1	6,7	10,9	4,6
СНТ Клязьма	9,9	5,5	6,0
Ст. Варениковская	6,1	9,4	5,0
Ст. Милованово	4,6	9,6	5,4
Среднее значение	6,8	8,9	5,3
Стандартное отклонение	2,2	2,3	0,6
Коэффициент вариации	32,7	26,3	11,4

По аналогии с городской застройкой далее будут рассмотрены затухания звука при распространении со 100 м на 200 м.

Рассмотрим зависимость затухания звука от плотности застройки. В таблице 3.3.3 представлены значения плотности застройки и затухания звука при распространении со 100 на 200 м.

Таблица 3.3.3 Плотность застройки и затухания звука на различных участках

Участок	Собщ	Сзастр	Плотность (Сзастр/Собщ)	Затухание
<b>Сельская плотная</b>				
Ст. Детская	25000	5604	0,22	5,9
Ст. Кубинка (СНТ Авиатор)	20000	1882	0,09	10,2
Ст. Толоконцево	20000	2025	0,10	9,7
СНТ Октябрь	20000	1350	0,06	7,9
Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	15000	1587	0,11	6,4
Ст. Абинская	10000	1071	0,11	12,1
Ст. ЗИП	10000	1078	0,11	7,5
Ст. Кавказская	7000	641	0,09	9,9
Ст. Невинномысская	9000	772	0,09	9,5
ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	16000	4200	0,26	7,2
Среднее			0,12	8,6
<b>Сельская редкая</b>				
Ст. Манихино–1	10000	565	0,05	4,6
СНТ Клязьма	15000	357	0,02	5,8

Участок	Собщ	Сзастр	Плотность (Сзастр/Собщ)	Затухание
Ст. Варениковская	10000	257	0,03	4,6
Среднее	-	-	0,03	5,0

На рисунке 3.3.15 изображена зависимость затухания звука от плотности застройки.



Рис. 3.3.15. График зависимости затухания звука в застройке ( $\Delta L$ ) от ее плотности

Из графика и таблицы видно, что наибольшие значения снижения звука наблюдаются при плотности застройки 0,06 – 0,09, далее значения затуханий немного снижаются и вновь возрастают с увеличением плотности. Отсюда можно сделать вывод. Что на снижения звука помимо плотности влияют дополнительные параметры.

По аналогии с городской застройкой можно сделать предположение, что на снижение звука в застройке виляет длина проветов между домами. В таблице 3.3.4 представлены значения отношения средней длины проветов между домами к общей длине участка. На рисунке 3.3.16 показан график зависимости снижения звука от средней длины разрывов между домами. Из графика видно, что с ростом значения отношения средней длины проветов меду домами к общей длине участка возрастает затухание звука.

Таблица 3.3.4 Отношения длин проветров между домами и затухания звука на различных участках

Участок	Средняя длина разрывов между домами вдоль источника шума (лпр)	Общая длина участка (лобщ)	Средняя длина проветров к общей длине (лпр/лобщ)	Затухание
Сельская плотная				
Ст. Детская	15,7	261,7	0,06	5,9
Ст. Кубинка (СНТ Авиатор)	9,6	192,0	0,05	10,2
Ст. Голоконцево	11,0	183,3	0,06	9,7
СНТ Октябрь	11,9	198,3	0,06	7,9
Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	22,5	150,0	0,15	6,4
Ст. Абинская	50,0	100,0	0,50	12,1
Ст. ЗИП	25,5	98,1	0,26	7,5
Ст. Кавказская	30,0	69,8	0,43	9,9
Ст. Невинномысская	16,0	88,9	0,18	9,5
ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	21,7	155,0	0,14	7,2
Среднее	-	-	0,19	8,6
Сельская редкая				
Ст. Манихино–1	20,0	100,0	0,20	4,6
СНТ Клязьма	30,0	150,0	0,20	5,8
Ст. Варениковская	28,0	100,0	0,28	4,6
Среднее	-	-	0,23	5,0

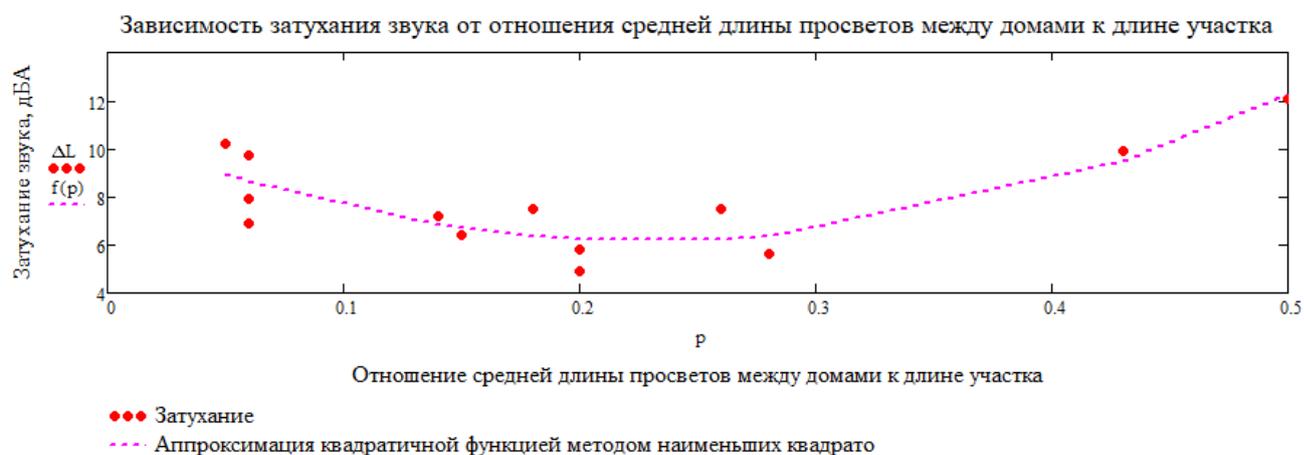


Рис. 3.3.16. График зависимости затухания звука в застройке ( $\Delta L$ ) от отношения средней длины проветров между домами к общей длине участка

### **3.4. Оценка затухания шума в застройке в зависимости от высоты**

Среди всех рассмотренных выше параметров, влияющих на распространение звука в застройке, не рассматривался такой параметр как высота застройки, однако он может оказывать не менее важное влияние на экранирование шума, чем геометрические параметры зданий и их расположение друг относительно друга. Различные типы застройки многоэтажной, малоэтажно, сельской и т.д. можно представить, как ландшафты с различной шероховатостью. Параметр шероховатости (или уровень шероховатости) –  $z_0$  – характеристика неровности подстилающей поверхности, которая влияет на движение воздуха в приземном слое [126 – 128]. Кроме того, данный параметр может быть использован для оценки затухания звука [130]. Выделяют три типа шероховатости для городской застройки – застройка высотой 3 – 5 этажей ( $z_0=1-2$  м), 5 – 9 этажей ( $z_0=2-4$  м), и свыше 9 этажей ( $z_0=4$  м), сельская застройка – 1 – 2 этажа ( $z_0=0,5-1$  м), также с точки зрения распространения звука можно выделить твердую поверхность и пористую поверхность (трава) ( $z_0<0,02$  м).

Участки застройки на которых проводились измерения были разделены на группы в соответствии с описанными выше категориями. В первую категорию вошли участки с домами высотой 3 – 5 этажей:

1. ст. Марьина Роща (южный участок);
2. ст. Серп и Молот;
3. Платформа Верхние Котлы;
4. ст. Куровская;
5. ст. Краснодар-2;
6. ст. Рабочий Городок – ст. Ростов-Главный;
7. ст. Кавказская – ст. Гетмановская.

Для группы данных участков была проведена оценка величин затухания звука при распространении с 25 на 50 м, с 50 на 100 м и со 100 на 200 м. Величины затуханий представлены в таблице 3.4.1. На графиках на рисунках 3.4.1 – 3.4.3 представлено графическое отображение данных значений. Для затуханий на

различных расстояниях были определены средние значения, среднеквадратичное отклонение ( $S$ ) и коэффициент вариации ( $CV$ ), который позволил оценить разброс значений затуханий. [129] Разброс считается несущественным при значении  $CV < 10\%$ , при значениях  $CV$  10 – 20% разброс считается приемлемым, если значения  $CV$  20% – 30% разброс значений существенный, при  $CV$  свыше 30% разброс значений очень высокий.

Таблица 3.4.1. Затухания звука в застройке высотой 3 – 5 этажей

Участки	Затухание 25-50, дБА	Затухание 50-100, дБА	Затухание 100-200, дБА
Марьиная Роща (южный участок)	7.2	8.7	7.5
Ст. Серп и Молот	9.0	6.6	7.7
Платформа Верхние Котлы	5.2	5.5	8.7
Ст. Куровская	12.6	7.2	8.7
Ст. Краснодар-2	12.9	12.6	9.6
ст. Рабочий Городок – ст. Ростов-Главный	7.5	11.1	11.0
ст. Кавказская – ст. Гетмановская	4.7	10.4	6.1
Среднее значение	8.4	8.9	8.5
Среднеквадратичное отклонение	3.3	2.6	1.6
Коэффициент вариации	38.8	29.3	18.6

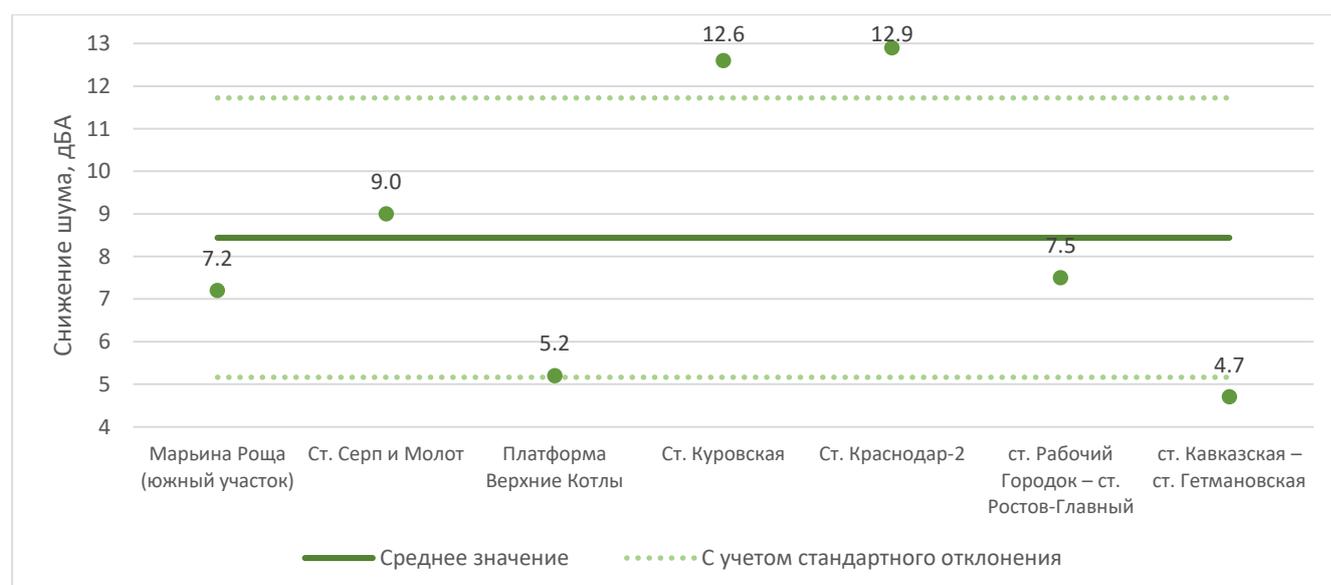


Рис. 3.4.1. Снижение звука при распространении с 25 на 50 м

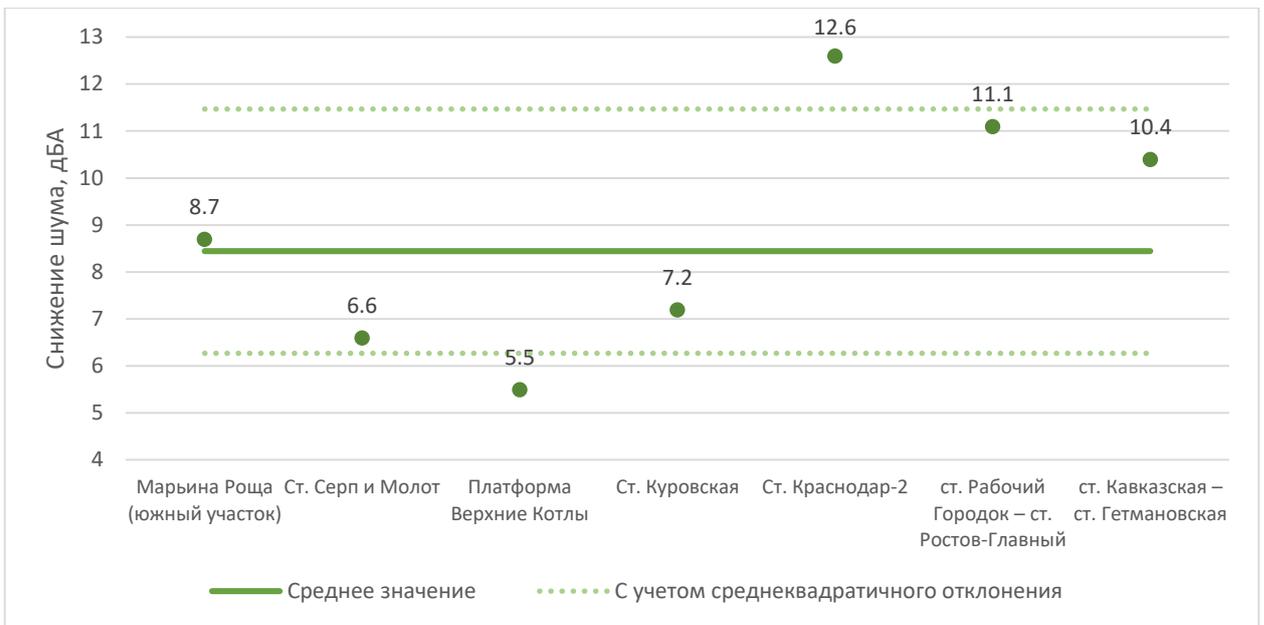


Рис. 3.4.2. Снижение звука при распространении с 50 на 100 м

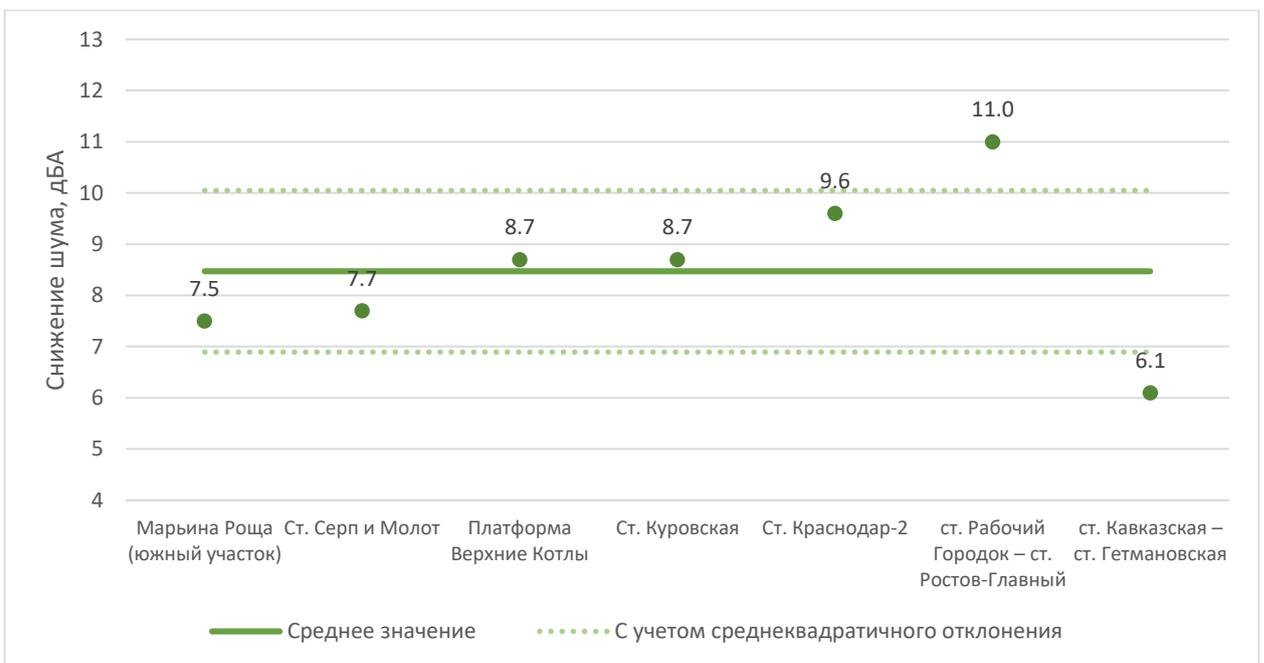


Рис. 3.4.3. Снижение звука при распространении с 100 на 200 м

При оценке затуханий при распространении звука с 25 на 50 м разброс значений получился очень высоким. Это связано с тем, что на расстоянии 25 – 50 м от железной дороги на большинстве участков отсутствует плотная жилая застройка, снижение шума обусловлено либо дивергенцией и снижением за счет поглощения подстилающей поверхностью, либо экранированием небольшими подсобными сооружениями и заборами. Из данной выборки были исключены участки ст. Серп и молот, ст. Куровская, ст. Краснодар-2, таким образом средние

значения затухания составили 6,2 дБА при коэффициенте вариации 22,3%, разброс приближается к приемлемому. На рисунке 3.4.4 представлено графическое отображения значений затухания при распространении звука с 25 на 50 м.

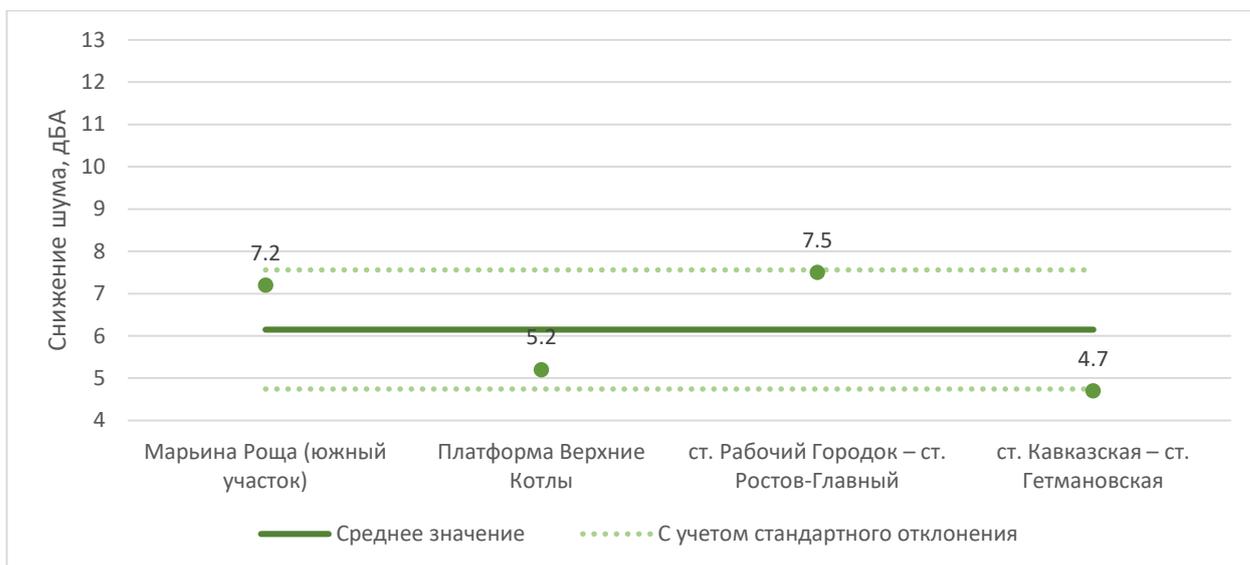


Рис. 3.4.4. Снижение звука при распространении с 25 на 50 м (после обработки результатов)

При распространении шума с 50 на 100 м среди затуханий наблюдается существенный разброс значений затухания. После исключения из выборки ст. Краснодар-2, ст. Рабочий Городок – ст. Ростов-Главный, ст. Кавказская – ст. Гетмановская среднее значение затухания составило 7 дБА при коэффициенте вариации 19%. На рисунке 3.4.5 представлено графическое отображения значений затухания при распространении звука с 50 на 100 м.

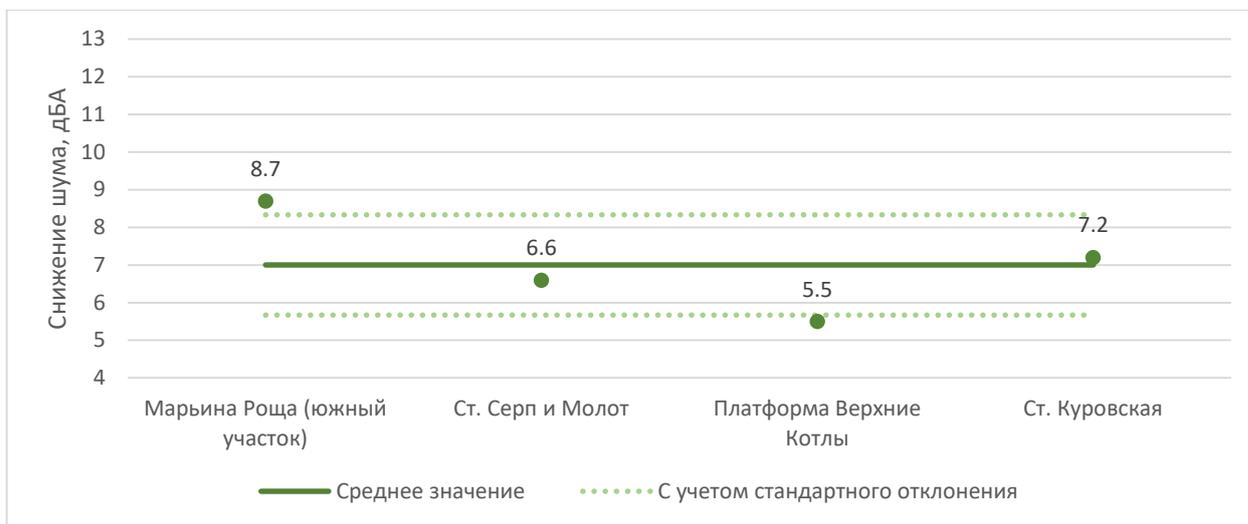


Рис. 3.4.5. Снижение звука при распространении с 50 на 100 м (после обработки результатов)

Затухание звука при распространении со 100 на 200 м обусловлено снижением шума в застройке, разброс значений можно считать приемлемым, однако для более точной оценки затухания звука при значении шероховатости данного типа понизим коэффициент вариации до 7,5%, исключив ст. Рабочий Городок – ст. Ростов-Главный и ст. Кавказская – ст. Гетмановская, среднее значение затухания в таком случае равно 8,4 дБА. На рисунке 3.4.6 представлено графическое отображения значений затухания при распространении звука с 100 на 200 м.

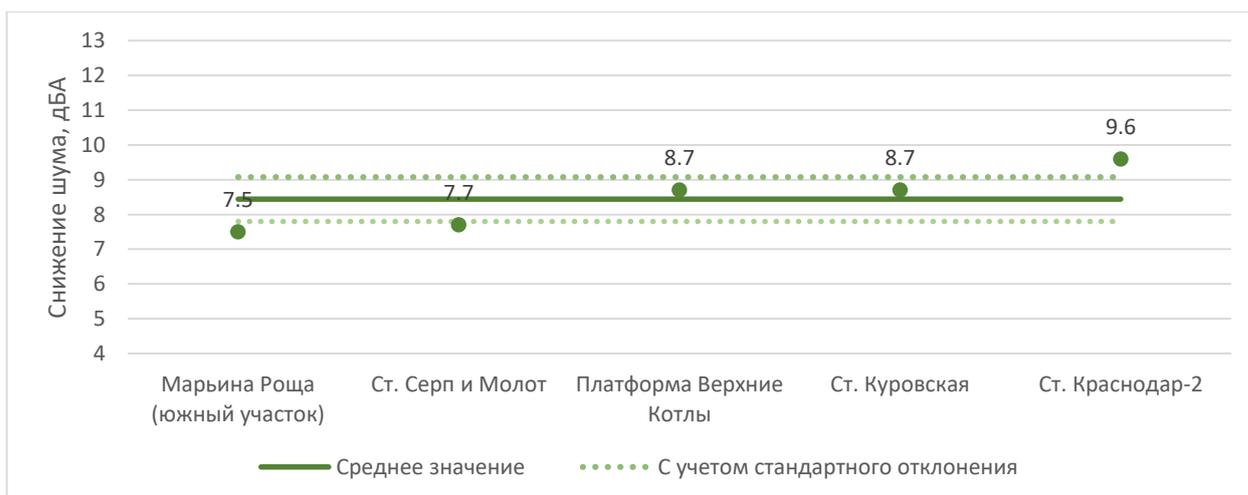


Рис. 3.4.6. Снижение звука при распространении с 100 на 200 м (после обработки результатов)

Ко второй категории, застройка высотой 5 – 9 этажей, вошли участки:

1. Платформа Маленковская
2. Ст. Детская
3. Марьина Роща (северный участок)
4. Платформа Электростанционная
5. Ст. Столбовая
6. Ст. Бугач
7. Ст. Городок МПС

В таблице 3.4.2 приведены значения затуханий звука на данных участках.

Таблица 3.4.2. Затухания звука в застройке высотой 5 – 9 этажей

Участки	Затухание 25-50, дБА	Затухание 50-100, дБА	Затухание 100-200, дБА
Платформа Маленковская	4.3	4.1	15.5
Ст. Детская	4.6	4.5	9.7
Марьина Роща (северный участок)	6.4	7.5	9
Платформа Электростанционная	11.5	7.8	3.4
Ст. Столбовая	5.8	6	14.3
Ст. Бугач	5.6	10	15.7
Ст. Городок МПС	4.9	6.9	12.6
Среднее значение	6.2	6.7	11.5
Среднеквадратичное отклонение	2.5	2.0	4.4
Коэффициент вариации	40.1	30.5	38.4

На рисунках 3.4.7 – 3.4.9 показано графическое отображение результатов таблицы 3.4.2.

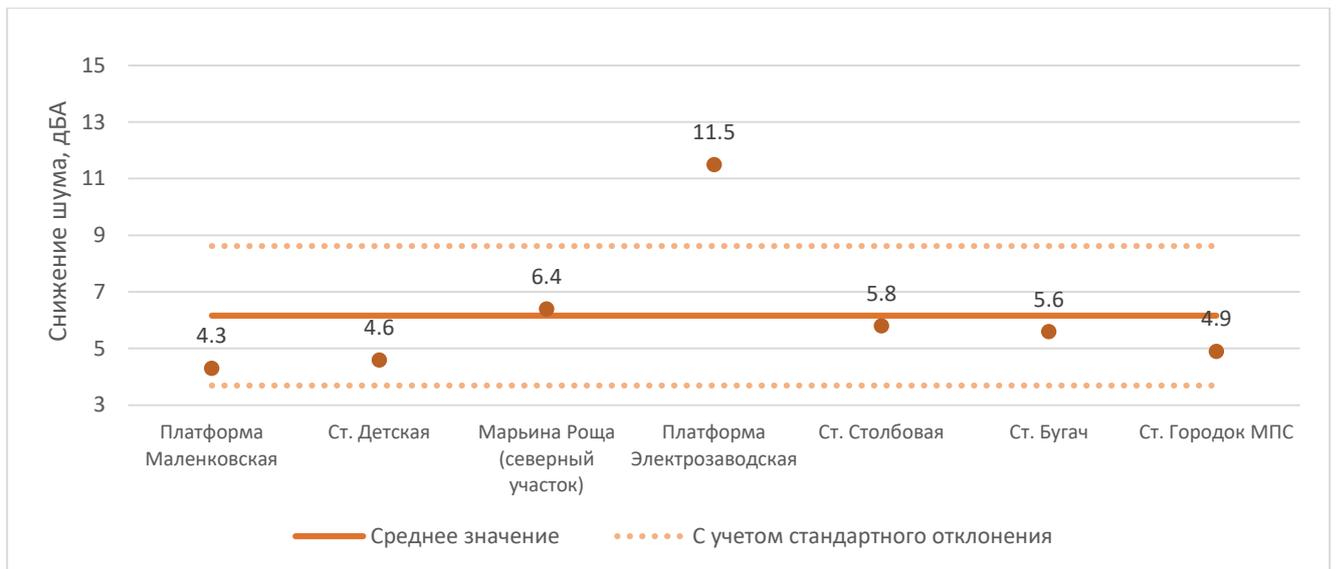


Рис. 3.4.7. Снижение звука при распространении с 25 на 50 м

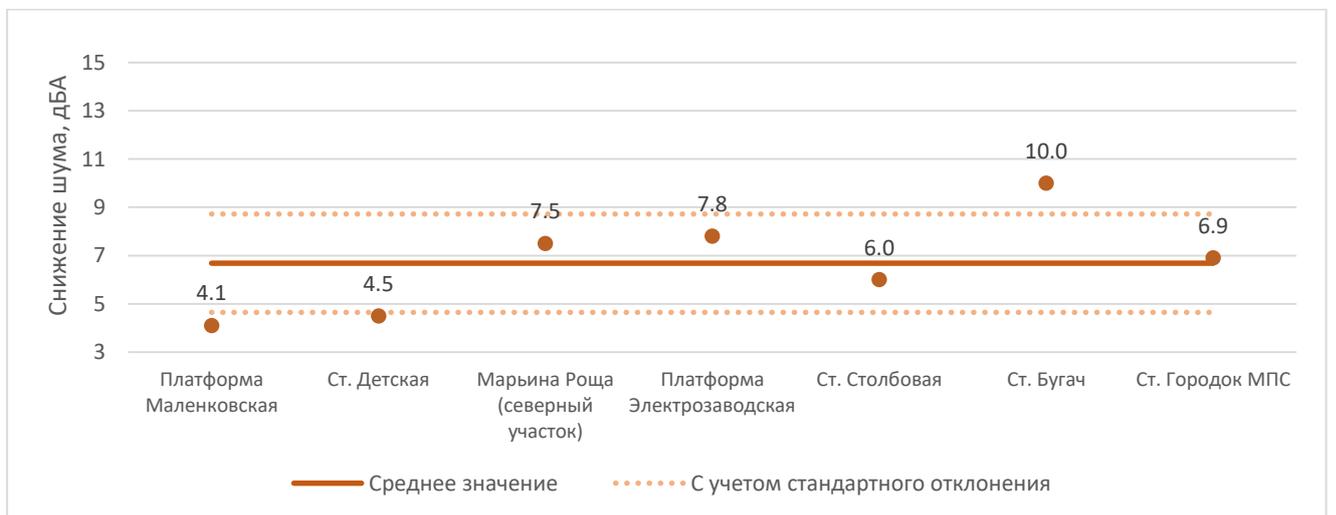


Рис. 3.4.8. Снижение звука при распространении с 50 на 100 м

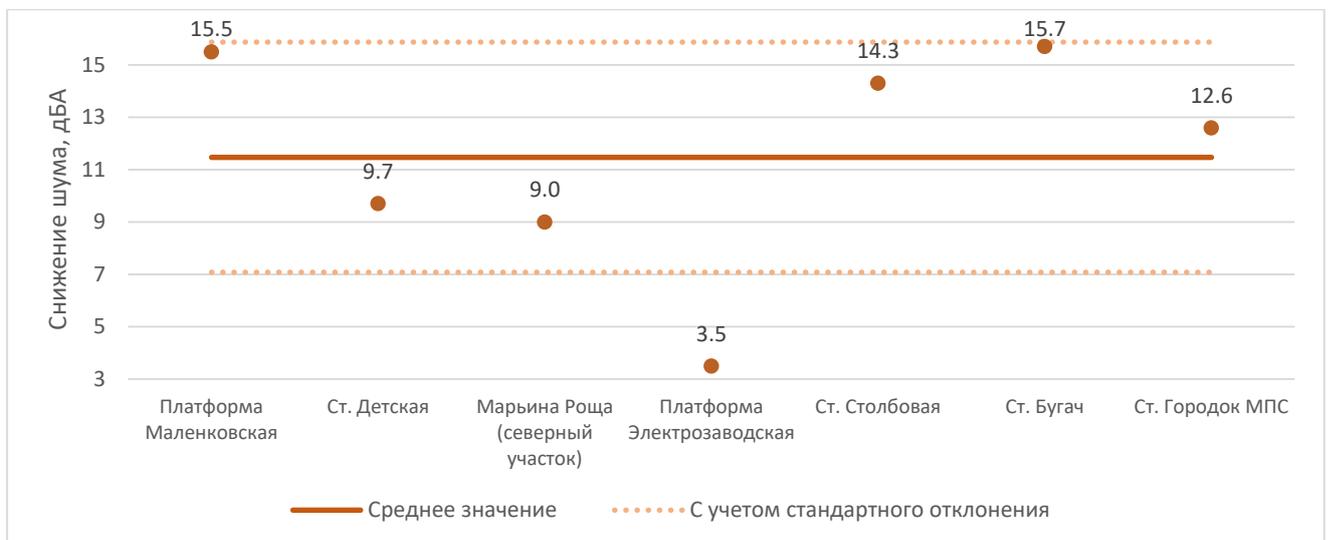


Рис. 3.4.9. Снижение звука при распространении с 100 на 200 м

Для всех расстояний разброс значений затуханий получился очень высоким (CV 30 и более %). После исключения из выборки участков, значения затухания на которых имели наибольшее расхождение со средним значением удалось добиться приемлемого разброса значений. При распространении звука с 25 на 50 м среднее значение затухания составило 5,3 дБА, при распространении с 50 на 100 м – 6,5 дБА, при распространении со 100 на 200 м – 14,5 дБА. На рисунках 3.4.10 – 3.4.12 представлены графики затухания звука после обработки.

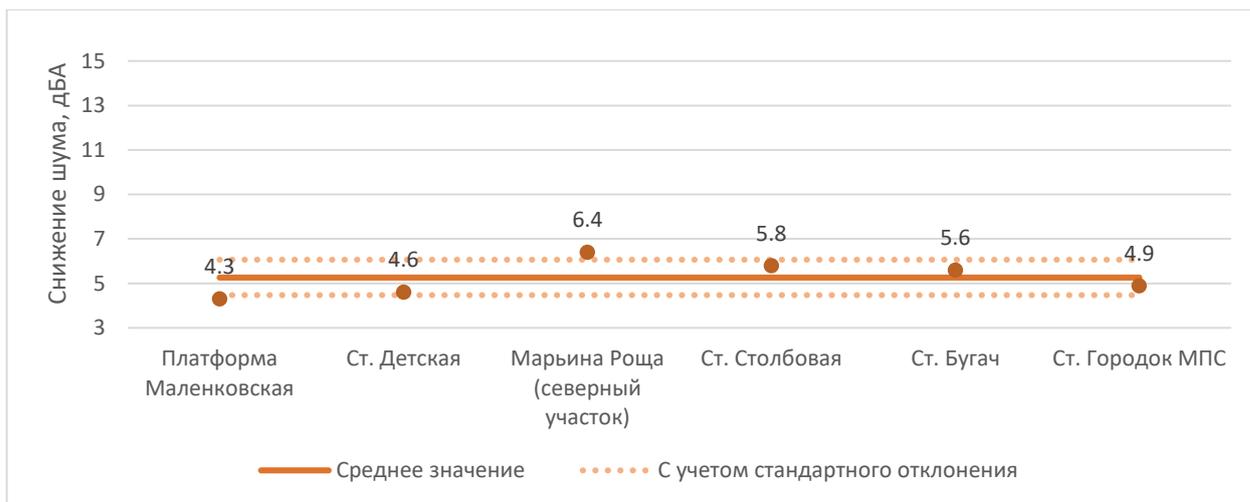


Рис. 3.4.10. Снижение звука при распространении с 25 на 50 м (после обработки результатов)

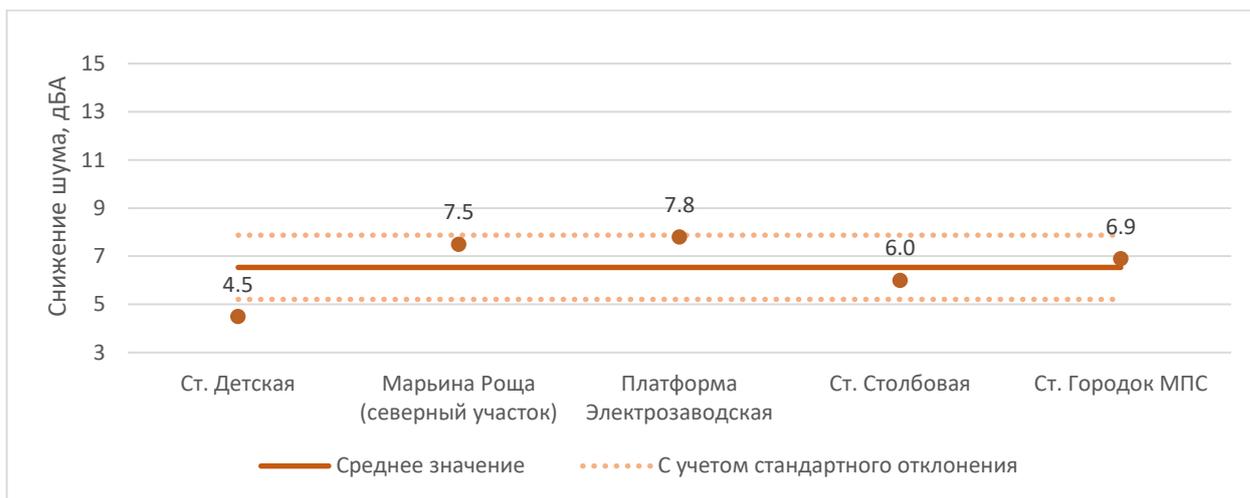


Рис. 3.4.11. Снижение звука при распространении с 50 на 100 м (после обработки результатов)

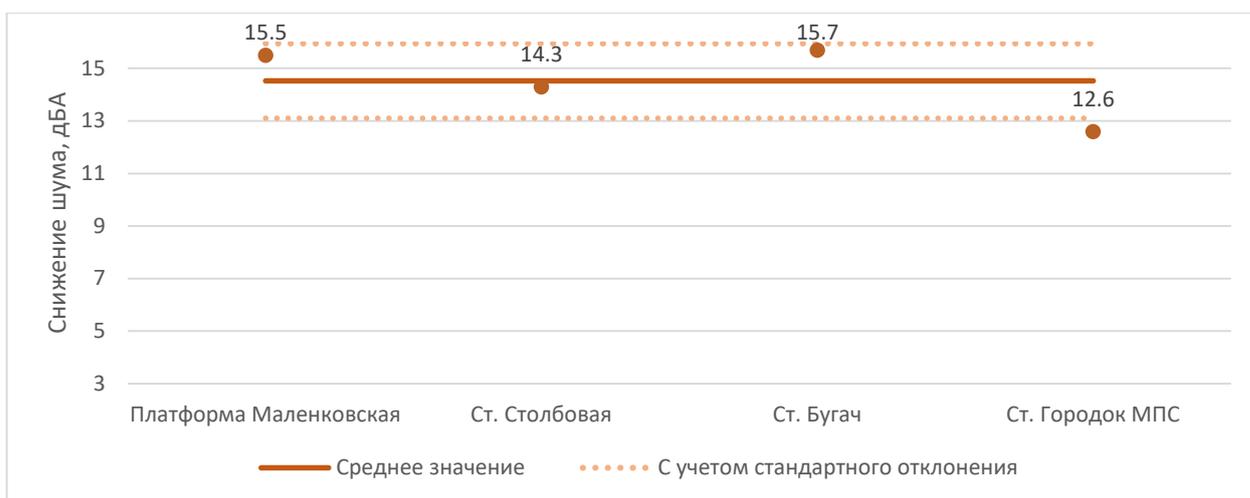


Рис. 3.4.12. Снижение звука при распространении с 100 на 200 м (после обработки результатов)

Третья категория городской застройки по типу шероховатости – застройка высотой более 9 этажей – включает в себя участки:

1. Пос. Железнодорожный
2. Ст. Балашиха
3. Ст. Лосиноостровская
4. ст. Москва – Товарная – Нижегородская (Курская)
5. ст. Матвеевская – ст. Очаково
6. Ст. Путепровод
7. Ст. Северное шоссе – ст. Бугач

В таблице 3.4.3 представлены затухания звука для данных участков, графическое отображение данных приводится на графиках, изображенных на рисунках 3.4.13 – 3.4.15.

Таблица 3.4.3. Затухания звука в застройке высотой свыше 9 этажей

Участки	Затухание 25-50, дБА	Затухание 50-100, дБА	Затухание 100-200, дБА
Пос. Железнодорожный	5.4	6.7	10.3
Ст. Балашиха	7.0	8.3	7.6
Ст. Лосиноостровская	5.3	3.3	21.0
ст. Москва – Товарная – Нижегородская (Курская)	7.3	4.8	9.7
ст. Матвеевская – ст. Очаково	6.0	8.0	12.9
Ст. Путепровод	11.2	8.8	12.9
Ст. Северное шоссе – ст. Бугач	8.1	2.8	22.6
Среднее значение	7.2	6.1	13.9

Участки	Затухание 25-50, дБА	Затухание 50-100, дБА	Затухание 100-200, дБА
Среднеквадратичное отклонение	2.1	2.5	5.8
Коэффициент вариации	28.3	40.4	41.5

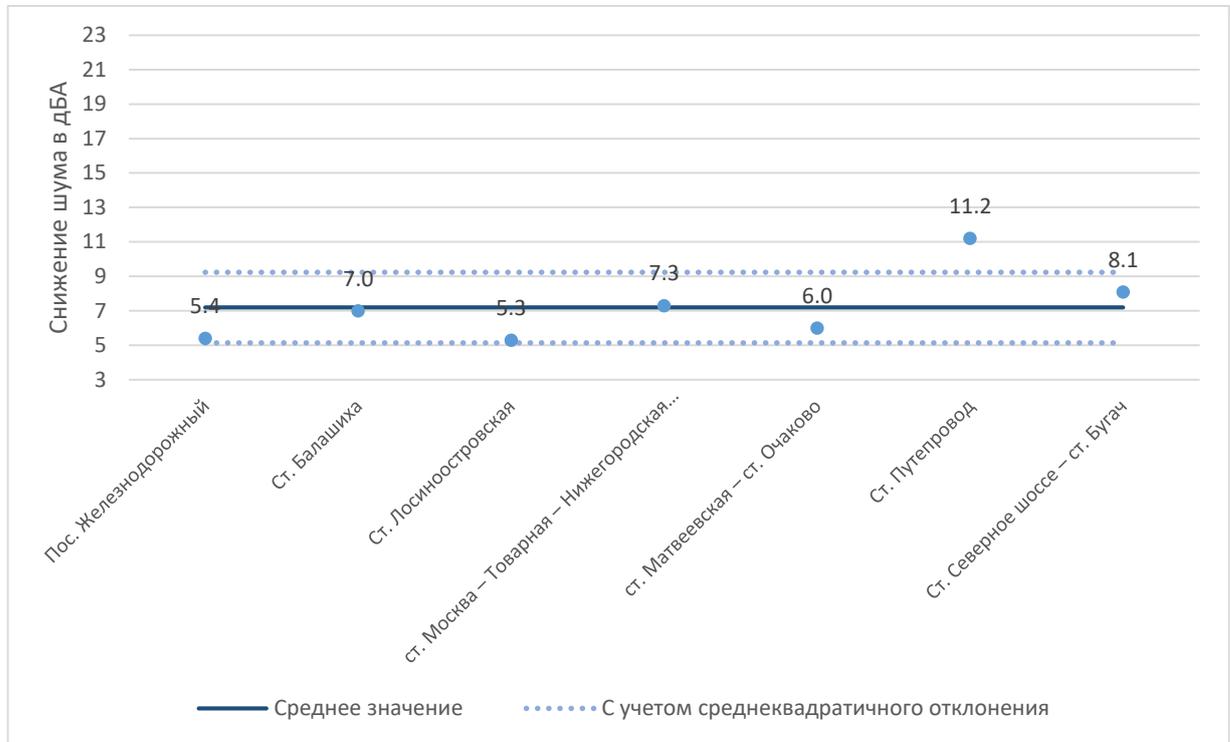


Рис. 3.4.13. Снижение звука при распространении с 25 на 50 м

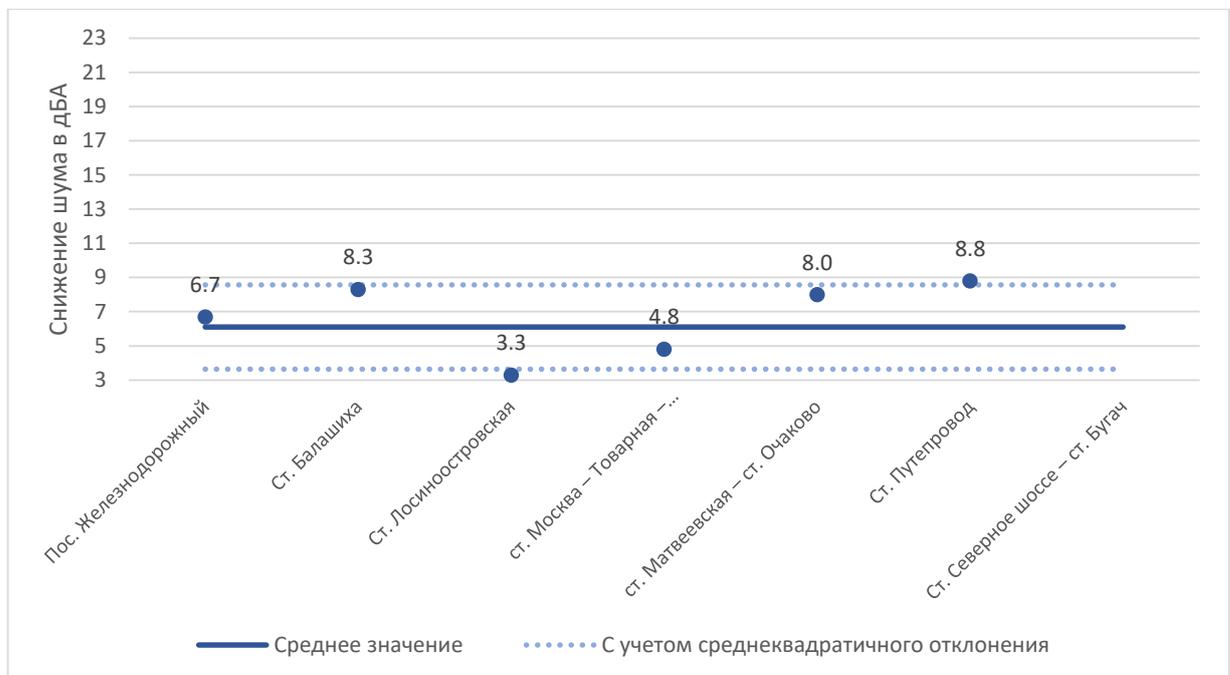


Рис. 3.4.14. Снижение звука при распространении с 50 на 100 м

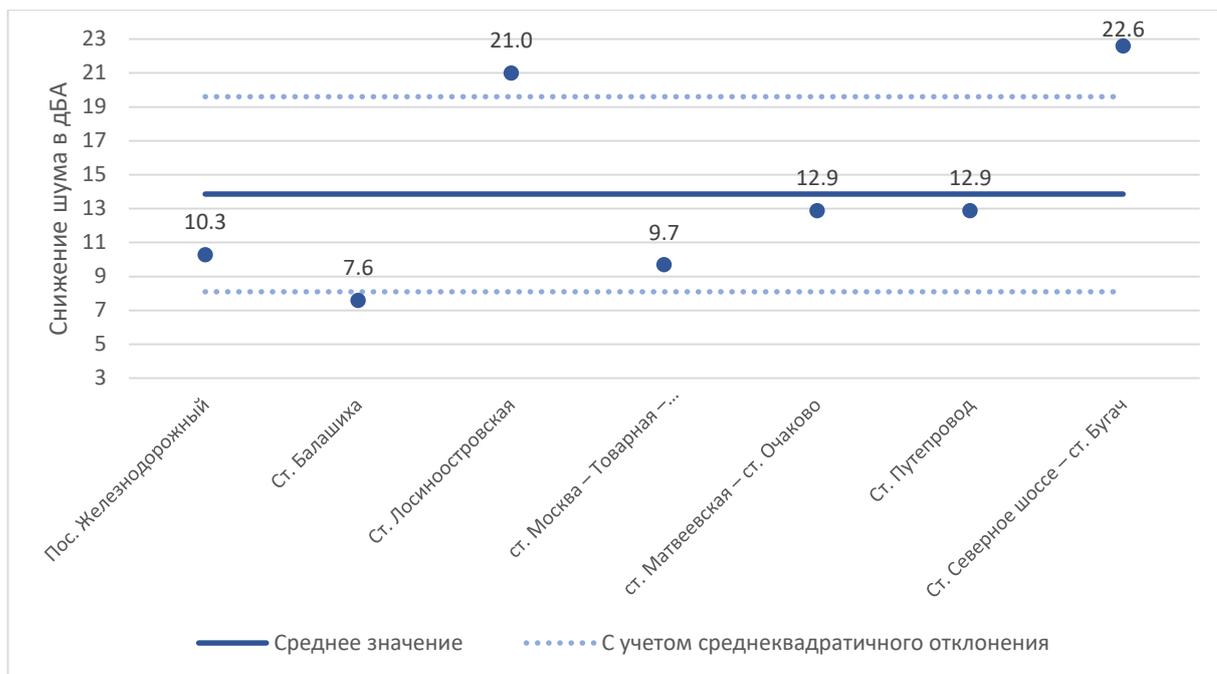


Рис. 3.4.15. Снижение звука при распространении с 100 на 200 м

Для затухания звука при распространении с 25 на 50 м разброс значений существенный, исключив два участка с наиболее высокими значениями затухания можно снизить коэффициент вариации до приемлемого значения 14,7%, при этом среднее значение затухания будет равно 6,2 дБА. На рисунке 16 показано графическое отображение результатов после исключения участков.

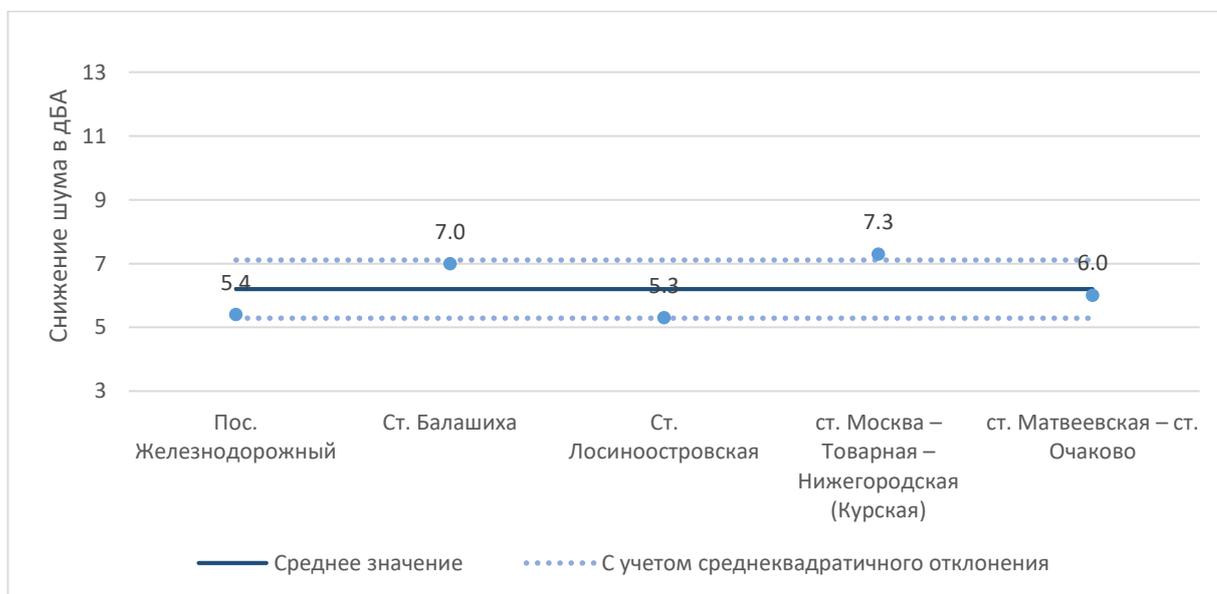


Рис. 3.4.16. Снижение звука при распространении с 25 на 50 м (после обработки результатов)

Для затуханий с 50 на 100 м разброс значений очень высокий, исключением участков с наибольшим отклонением значений от среднего разброс значений сокращается до приемлемого ( $CV=11,3\%$ ), среднее значение затухания – 7,9 дБА. На рисунке 3.4.17 представлен график затуханий на участках.

Для затуханий со 100 на 200 м разброс значений также очень высокий, что в основном связано с тем, что на двух участках (ст. Лосиноостровская и ст. Северное шоссе – ст. Бугач) затухание на таком расстоянии превышает 20 дБА и обусловлено наличием высокого протяженного здания на пути распространения шума. После обработки данных разброс снизился до приемлемого значения, среднее значение затухания составило 11,5 дБА (см. рисунок 3.4.18).



Рис. 3.4.17. Снижение звука при распространении с 50 на 100 м (после обработки результатов)

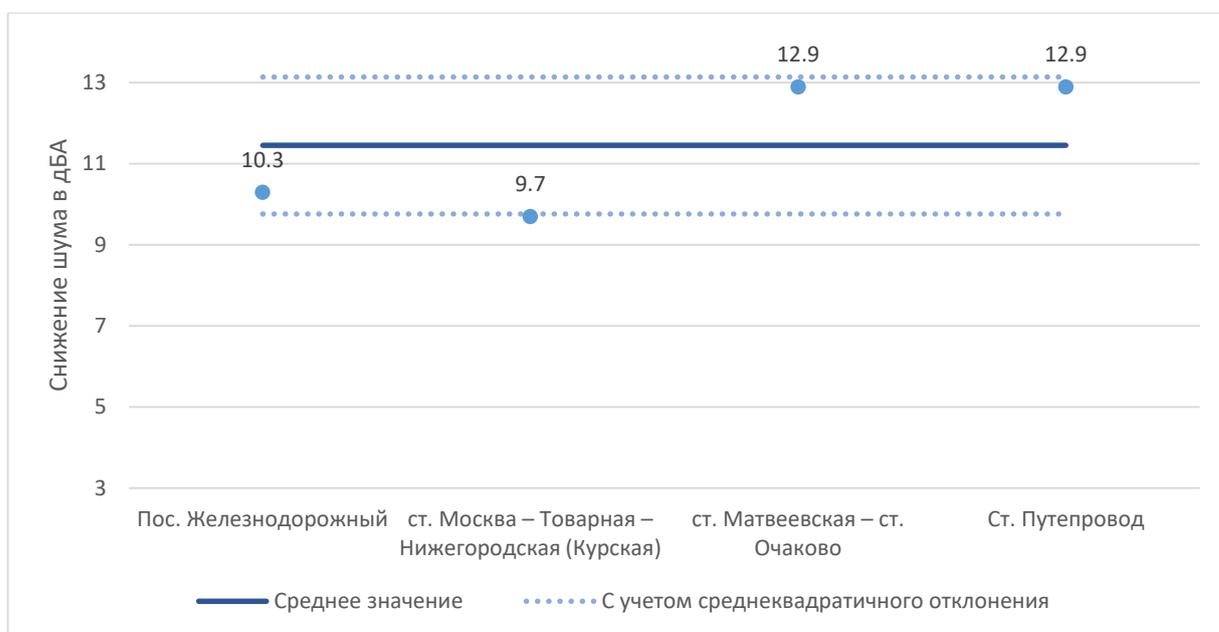


Рис. 3.4.18. Снижение звука при распространении с 100 на 200 м (после обработки результатов)

Все участки с сельской застройкой были отнесены к типу шероховатости «здания высотой 1 -2 этажа». В выборку вошло 20 различных участков сельской местности, в таблице 3.4.4 приведен перечень участков и величины затуханий звука.

Таблица 3.4.4. Затухания звука в застройке высотой 1 – 2 этажа

Участки	Затухание 25-50, дБА	Затухание 50-100, дБА	Затухание 100-200, дБА
Ст. Детская	5.5	6.4	8.3
Ст. Кубинка (СНТ Авиатор)	5.6	7.2	8.0
Ст. Манихино–1	6.7	8.6	2.9
Ст. Толоконцево	6.4	8.1	9.7
СНТ Клязьма	7.5	5.3	6.0
СНТ Октябрь	9.0	8.3	8.2
Ст. Мостоотряд – ст. Абакан	9.9	4.3	7.8
Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	5.9	7.8	6.4
Ст. Карай	5.8	5.0	8.9
Ст. Абинская	6.8	7.2	9.7
Ст. Варениковская	5.9	8.2	4.9
Ст. ЗИП	8.8	6.8	6.7
Ст. Кавказская	8.8	-0.5	10.4
Ст. Милованово	5.8	7.3	5.6

Участки	Затухание 25-50, дБА	Затухание 50-100, дБА	Затухание 100-200, дБА
Ст. Мирская	4.5	10.3	7.7
Ст. Невинномысская	6.1	7.2	9.5
ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	7.3	9.3	7.8
Среднее значение	6.8	6.9	7.6
Среднеквадратичное отклонение	1.5	2.4	2.0
Коэффициент вариации	21.8	35.4	25.9

На графиках, представленных на рисунках 3.4.19 – 3.4.21 показаны значения затуханий в данном типе застройки.

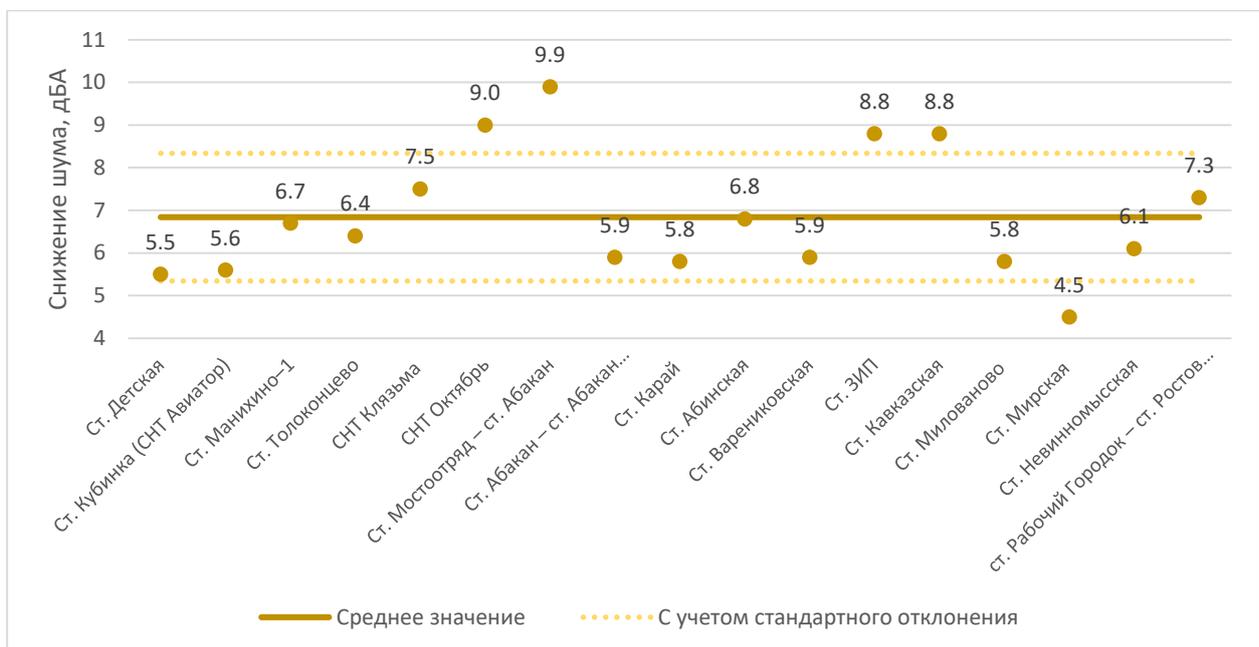


Рис. 3.4.19. Снижение звука при распространении с 25 на 50 м

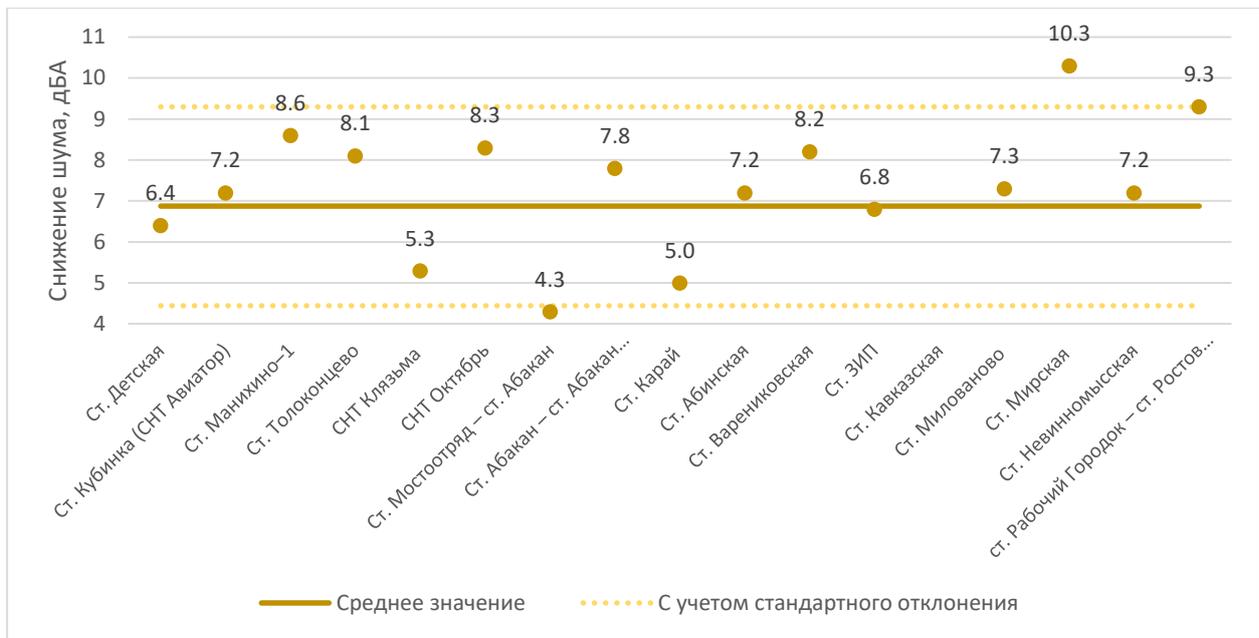


Рис. 3.4.20. Снижение звука при распространении с 50 на 100 м

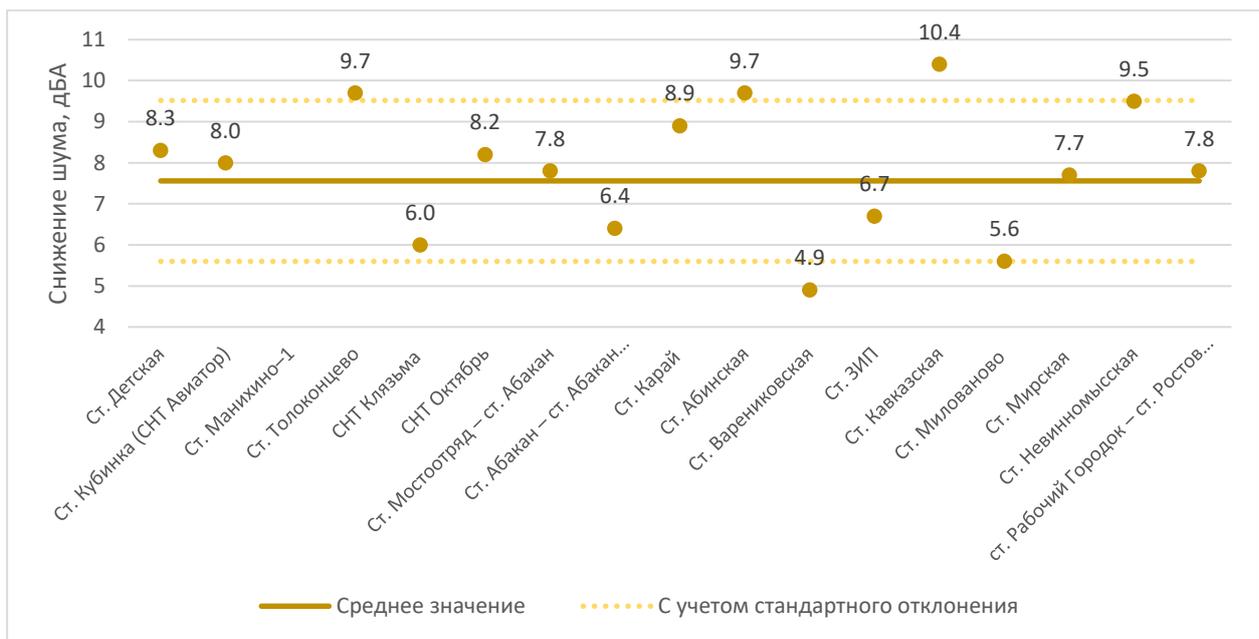


Рис. 3.4.21. Снижение звука при распространении с 100 на 200 м

Коэффициент вариации для выборки затуханий звука на всех расстояниях превышает 20%, для снижения разброса значений из выборки исключаются все, наиболее отличающиеся от средних, значения. По итогам обработки разброс значений затухания на различных расстояниях приблизился к несущественному, средние значения затуханий составили для затухания при распространении с 25 на

50 м – 6.3 дБА, с 50 на 100 м – 7.9 дБА, со 100 на 200 м – 7.4 дБА. Результаты обработки представлены на графиках на рисунках 3.4.22 – 3.4.24.

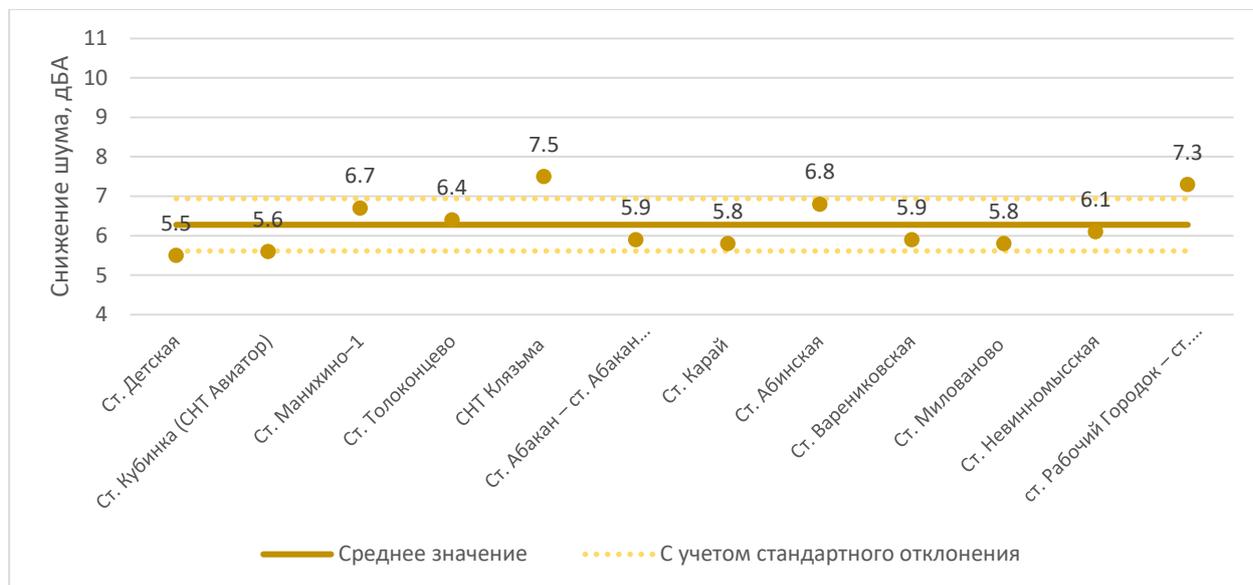


Рис. 3.4.22. Снижение звука при распространении с 25 на 50 м (после обработки результатов)

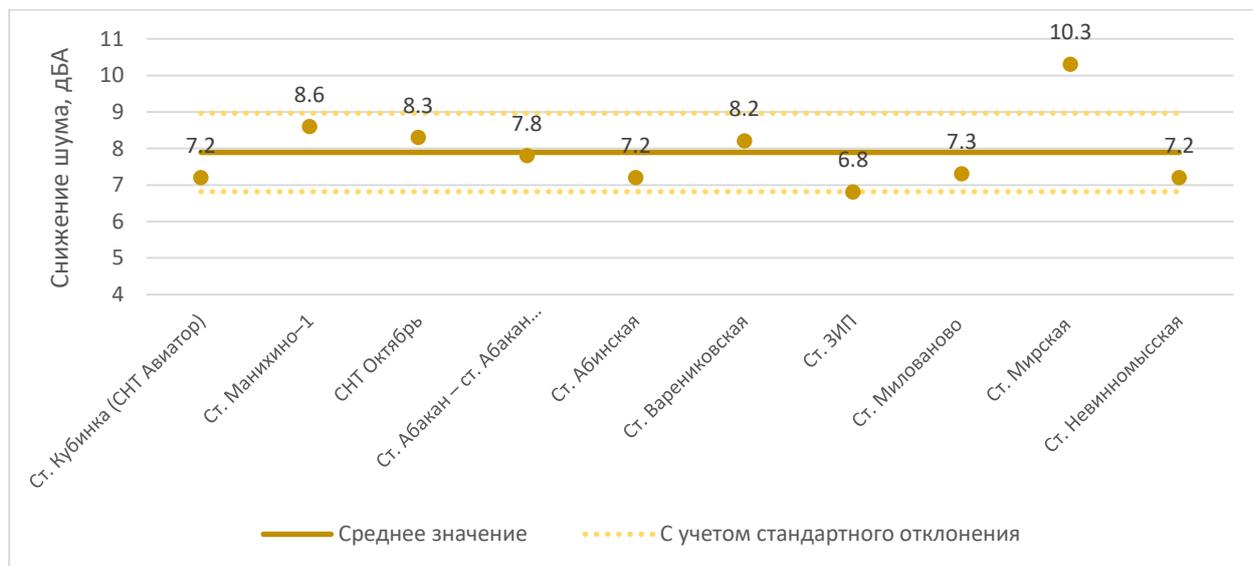


Рис. 3.4.23. Снижение звука при распространении с 50 на 100 м (после обработки результатов)

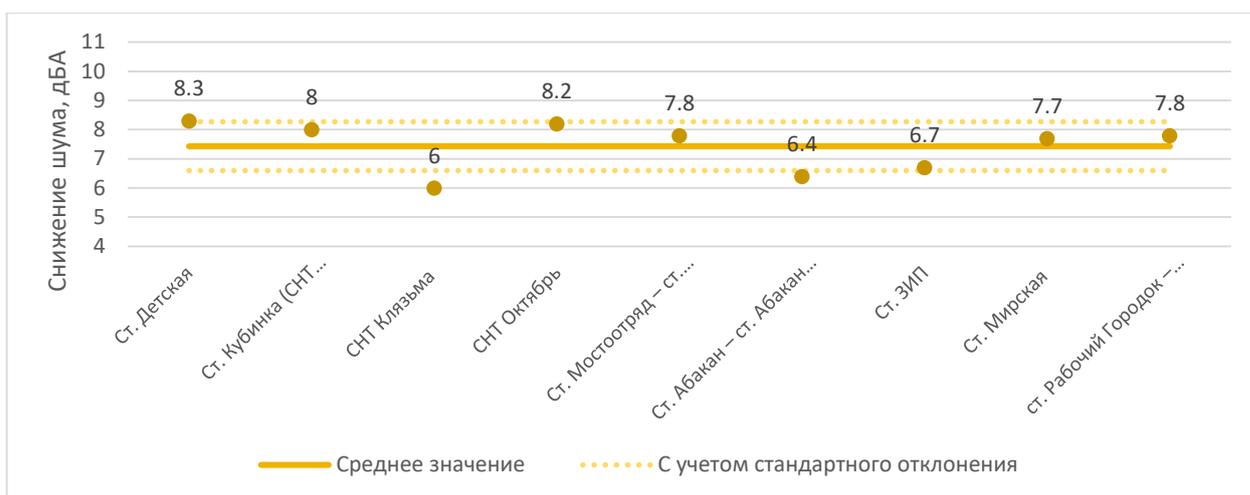


Рис. 3.4.24. Снижение звука при распространении с 100 на 200 м (после обработки результатов)

В таблице 3.4.5 представлены итоговые значения затуханий звука для различной этажности застройки.

Таблица 3.4.5. Затуханий звука для различной этажности застройки и коэффициент вариации для данной выборки

Параметр	Застройка 3 – 5 этажей	Застройка 5 – 9 этажей	Застройка 9 и более	Застройка 1 – 2 этажа
Распространение звука с 25 на 50 м				
Среднее затухание	6.2	5.3	6.2	6.3
Коэффициент вариации	22.8	15.2	14.7	10.5
Распространение звука с 50 на 100 м				
Среднее затухание	7.0	6.5	8.0	7.9
Коэффициент вариации	19.1	20.4	11.3	13.6
Распространение звука с 100 на 200 м				
Среднее затухание	8.4	14.5	11.5	7.4
Коэффициент вариации	7.5	9.8	14.8	11.3

На диаграммах, представленных на рисунках 3.4.25 – 3.4.26 показаны коэффициенты вариации для всех рассмотренных выборок, до обработки и после. Можно увидеть, что до обработки 11 выборок из 12 имели существенный или очень высокий разброс, после обработки существенный разброс имеют только значения затуханий звука на 25 – 50 м в застройке 3 – 5 этажей.

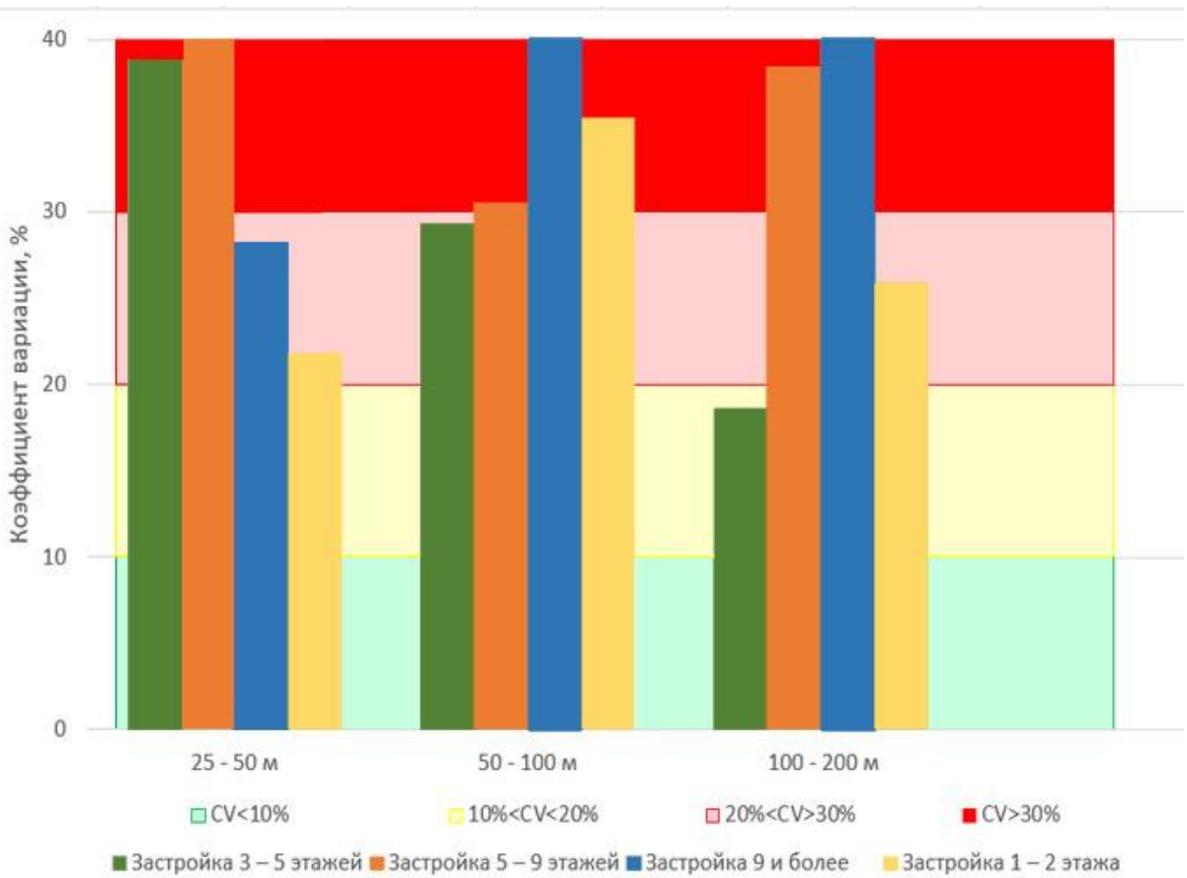


Рис. 3.4.25. Коэффициент вариации до обработки результатов

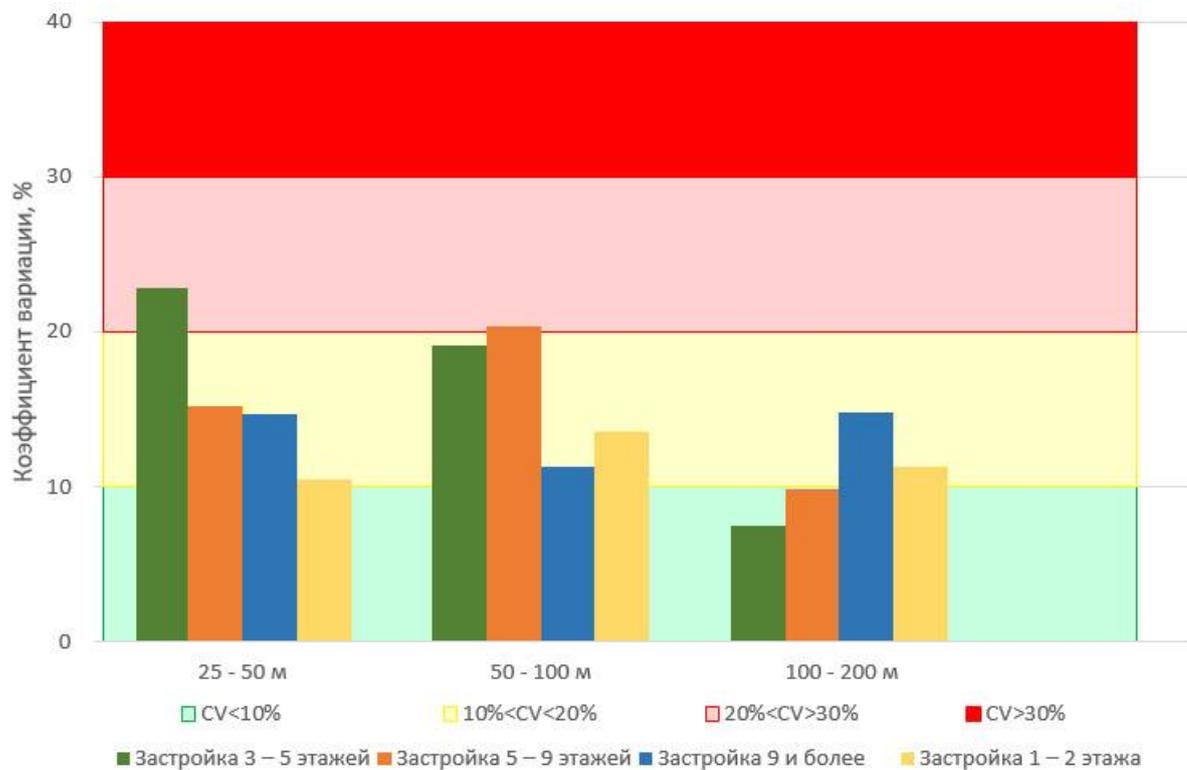


Рис. 3.4.26. Коэффициент вариации после обработки результатов

Из графика, представленного на рисунке 3.4.26 видно, что данные по затуханию звука при распространении со 100 на 200 м имеют наименьший (незначительный) разброс, за исключением выборки для застройки свыше 9 этажей, что связано с небольшим объемом выборки. Из этого следует, что наиболее достоверные значения были получены именно для данной области. Затухание при распространении звука с 25 на 50 м или с 50 на 100 м связано не только с затуханием на ландшафте с данной шероховатостью, но, зачастую, и с затуханием в ландшафте, шероховатость которого ниже рассматриваемой, так как между первым эшелонем жилых домов и железной дорогой часто расположены более низкие здания.

В таблице 3.4.6 представлены значения затуханий звука при различной шероховатости застройки. На рисунке 3.4.27 представлено графическое отображение полученных результатов.

*Таблица 3.4.6.* Значения затуханий звука при различной шероховатости застройки

Тип застройки	Н, м	Z <sub>0</sub> , м	Затухание, дБА		
			25 – 50 м	50 – 100 м	100 – 200 м
Городская застройка 3 – 5 этажей	11-15	1-2	6.2	7.0	8.4
Городская застройка 5 – 9 этажей	15-30	2-4	5.3	6.5	14.5
Городская застройка 9 и более этажей	30	4	6.2	8.0	11.5
Сельская застройка 1 – 2 этажа	5-8	0,5-1	6.3	7.9	7.4
Твердая поверхность G=0	> 0,2	> 0,02	0.1	1.9	3.1
Пористая поверхность G=1 (трава)	> 0,2	> 0,02	4.4	4.7	4.5

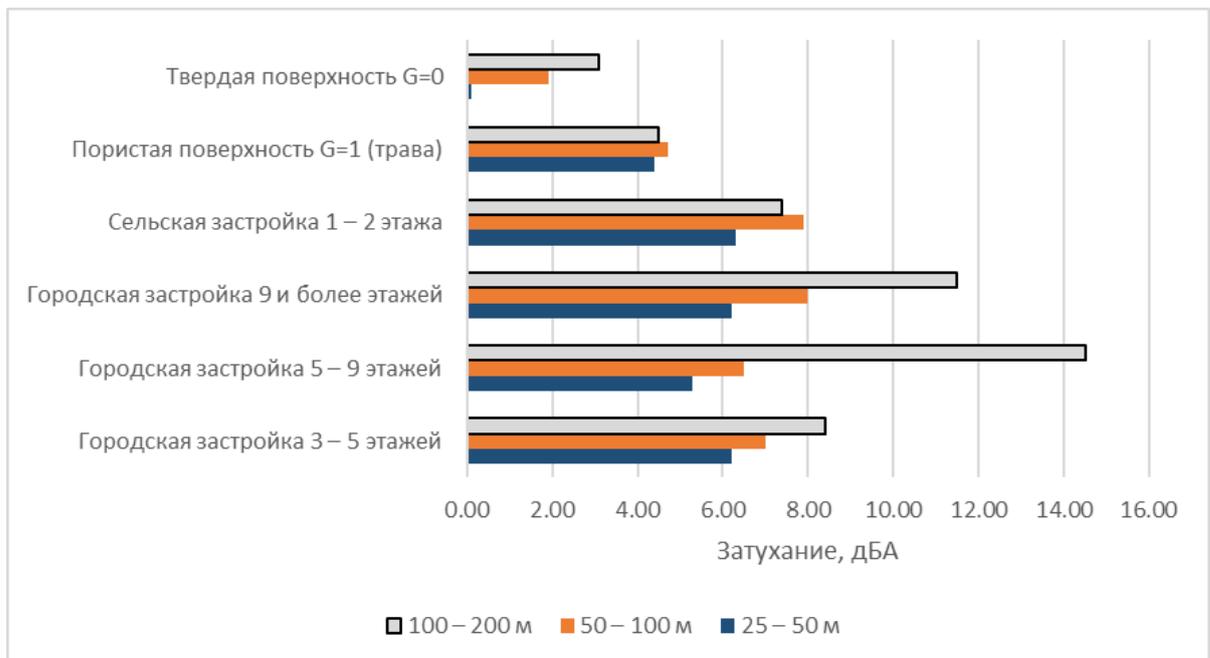


Рис. 3.4.27. Затухание звука на различных расстояниях от железнодорожных путей в зависимости от шероховатости

### 3.5. Оценка совокупного влияния факторов на затухание шума

По результатам исследований были установлены основные параметры, влияющие на снижение звука в различных типах застройки:

для городской застройки:

- отношение длин сторон зданий;
- отношение длины пролетов между зданиями к общей длине участка застройки,

для сельской застройки:

- плотность застройки;
- отношение средней длины пролетов между домами к общей длине участка.

С учетом полученных зависимостей среднего затухания в застройке от ее параметров были разработаны эмпирические коэффициенты, учитывающие основные влияющие параметры.

Так как зависимость затухания звука с расстоянием является логарифмической [1, 53, 54, 55, 68, 131], за основу принята формула:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{R}{r_0}, \quad (3.1)$$

где  $\Delta L$  – снижение уровня звука в расчетной точке, дБА;

$R$  – расстояние от источника шума до расчетной точки, м;

$r_0$  – опорное расстояние, м.

Данная формула представлена в СП 23-104-2004 как формула расчета снижения шума источника с расстоянием в свободном пространстве. Для случая, когда расчетная точка располагается в условиях застройки, данная формула принимает вид:

$$\Delta L = 15 \lg \frac{R}{r_0}, \quad (3.2)$$

Для связи параметров, от которых зависит затухание звука, описанных в 3.2 – 3.3 используется эмпирический коэффициент  $C$ , тогда формула затухания звука в жилой застройке будет иметь вид:

$$\Delta L = C \lg \frac{R}{r_0}, \quad (3.3)$$

Метод эмпирических коэффициентов был выбран, так как данный подход успешно используется в различных методиках расчета распространения шума.

В [132] приводится история развития статистической модели расчета автотранспортного шума, которое берет свое начало в 1952 году с модели, представленной в [133]:

$$L_{50} = 68 + 8,5 \lg(Q) - 20 \lg(d), \quad (3.4)$$

где  $L_{50}$  – перцентиль 50 шума от автотранспорта на скорости 35–45 миль/час и расстоянии более чем 20 футов, дБА;

$Q$  – количество транспортных средств на участке в час, ед;

$d$  – расстояние от точки наблюдения до центра полосы движения, фут.

В дальнейшем были проведены эксперименты, учитывающие влияние различных факторов на шумовую характеристику автотранспортного потока, таких как состав потока (количество грузовых автомобилей в потоке), подстилающая поверхность и пр. Расчетные модели стали учитывать данные показатели, а в качестве оценки уровня звука стал использоваться эквивалентный уровень звука.

Все полученные в дальнейшем расчетные модели можно объединить следующим выражением:

$$L_{50}=A \lg Q [1+P/100 (n-1)] + b \lg(d) + C, \quad (3.5)$$

где P – процент тяжелых транспортных средств;

n – акустический эквивалент, определяемый как количество легкового автотранспорта генерирующего тот же уровень шума, что и один грузовой транспорт;

A, b и C – коэффициенты которые могут быть получены для заданной области исследования методами линейной регрессии по данным  $L_{eq}$ , для различных транспортных потоков (Q, P) и расстояний (d).

В 1996 году НИИСФ разрабатывал аналитическую статистическую модель оценки шума транспорта. Эквивалентный уровень звука потока транспорта был выражен как функция от среднестатистических характеристик движения различных видов транспорта:

$$L_{A_{экв}} = 10 \lg \left[ \frac{2,3 \times 10^{-9} \cdot N \cdot V^{2,4} \cdot \nabla^{0,3}}{\varepsilon} \left( \sum_{i=1}^n p_i \cdot 10^{0,1L_{50i}} \right) \cdot \sum_{j=1}^m d_j^{-1} \right] + \Delta L_{Анакл} + \Delta L_{Асигн}, \quad (3.6)$$

где N – суммарная интенсивность потока в обоих направлениях, авт/ч;

V – средняя скорость потока, км/ч;

$\nabla$  – шероховатость поверхности дороги, мм;

$\varepsilon$  – фактор, учитывающий количество полос движения;

$p_i$  – доля различных видов транспорта в потоке, %;

$L_{50i}$  – среднестатистический уровень шума одиночного автомобиля i-того вида при скорости 50 км/ч, дБА;

$d_j$  – расстояние от микрофона до центра j-той полосы движения, м;

$\Delta L_{Анакл}=(0,05\gamma - 1)$  – корректирующий фактор, дБА, с учетом продольного наклона поверхности  $\gamma$ ;

$\Delta L_{Асигн}=0,0357p - 0,025z+2,143$  – фактор, учитывающий цикл сигнала светофора;

z – доля свободной фазы транспортного сигнала, %.

Вышеуказанная формула имеет следующие ограничения: а)  $0,2 \leq \nabla \leq 10$  мм, б) при  $\gamma \leq 20\%$   $\Delta L_{\text{Анакл}}=0$ , и в)  $d_j < 8$  м. При непрерывном движении и интенсивности  $N > 1000$  авт/ч формула может быть упрощена и приведена к виду:

$$L_{\text{Аээк}} = 10 \lg N + 8,4 \lg(1 + P) + 13,3V + \Delta L_{\text{Ассуз}} + 9, \text{ дБА} \quad (3.7)$$

где  $P = \sum_i p_i$  – суммарная доля всех видов транспорта, %.

Методика расчета шумовой характеристики потока автотранспорта в соответствии с СП 23-104-2004 имеет вид:

$$\Delta L_{\text{Аэкв}} = 16,2 + 10 \lg(N) + 13,3 \lg(v) + 9 \lg(1 + P_r) + 10 \lg(r), \quad (3.8)$$

где  $N$  – интенсивность движения транспортных потоков в «час пик», авт/ч;

$v$  – средняя скорость движения транспортных потоков, км/ч;

$P_r$  – доля грузового и общественного транспорта в общем потоке, %;

$r$  – расстояние от оси ближайшего пути до расчетной точки, м.

Более упрощенная методика расчета эквивалентного уровня звука потока автотранспорта на расстоянии 7,5 м от оси ближайшей полосы движения представлена в ОДМ 218.2.013-2011 и СП 276.1325800.2016:

$$L_{\text{мрп}} = 50 + 8,8 \lg N, \quad (3.9)$$

где  $N$  – расчетная интенсивность движения в дневной или ночной периоды времени, авт/час.

В всех случаях в формулах используются коэффициенты, на которые умножается десятичный логарифм некоего непостоянного параметра, от которого зависит шумовая характеристика потока.

Похожий вид имеют формулы 3.60 – 3.67 СП 23-104-2004 для расчета шума рельсового транспорта, например, формула для расчета шума электропоезда:

$$L_{\text{Аэкв}} = 11,1 + 10 \lg(n) + 24,9 \lg(v) - 10 \lg(r) + 10 \lg(l), \quad (3.10)$$

где  $n$  – число пар поездов в час, пар/ч;

$v$  – скорость движения поезда, км/ч;

$r$  – расстояние между расчетной точкой и осью пути, ближайшего к расчетной точке, м;

$l$  – длина поезда, м.

Аналогичный подход применяется в [35] для расчета внешнего шума поездов. Для расчета эквивалентного уровня звука потока поездов на расстоянии 25 м от оси ближайшего пути используются следующие выражения:

$$L_{pAeq,25} = a_2 \lg(v) + b_2 + 10 \lg \left( \operatorname{arctg} \frac{l}{25} - \frac{12,5}{l} \ln \left( \left( \frac{l}{25} \right)^2 + 1 \right) \right), \quad (3.11)$$

где  $a_2$  и  $b_2$  параметры, подлежащие определению.

В дальнейшем данное выражение было использовано в методике ГОСТ Р 54933. Таким образом, применение метода эмпирических коэффициентов, полученных методом наименьших квадратов по данным натурных измерений, оправданно.

Для учета шероховатости застройки при расчетах распространения шума была определена коррекция  $K_{\text{выс}}$ . Данная коррекция определяется на основании данных, полученных для затуханий звука при распространении со 100 до 200 м, как наиболее достоверных в связи с тем, что в данной зоне высота застройки полностью сформирована, шероховатость застройки может быть однозначно определена.

Коррекция, учитывающая высоту застройки,  $K_{\text{выс}}$ , определяется в зависимости от уровня шероховатости застройки  $Z_0$ , по формуле:

$$K_{\text{выс}} = 10^{(0,1 * Z_0)} \quad (3.12)$$

В таблице 3.5.1 представлены значения коэффициента  $K_{\text{выс}}$  для различных уровней шероховатости застройки.

Таблица 3.5.1. Значения коэффициента  $K_{\text{выс}}$

Тип застройки	Высота, м	Уровень шероховатости застройки $Z_0$ , м	Коэффициент, учитывающий высоту застройки, $K_{\text{выс}}$
Пористая поверхность $G=1$ (трава)	0,2	0,02	1
Сельская застройка 1 – 2 этажа	5-8	1	1,3
Городская застройка 3 – 5 этажей	11-15	1,5	1,5
Городская застройка более 5 этажей	15-30	3	2

Таким образом, итоговая формула для расчета снижения шума в застройке с учетом коэффициента  $C$  и коррекции  $K_{\text{выс}}$  будет иметь вид:

$$\Delta L = C \lg \frac{R}{r_0} + K_{\text{выс}}, \quad (3.13)$$

Поскольку данная формула применима только к застроенным участкам, то  $R$  здесь – это ширина участка, м, определяемая как расстояние от границы застройки до расчетной точки.

Коэффициент  $C$  будет определяться в зависимости от типа застройки. Периметральная и строчная перпендикулярная застройка выделяются в один тип, строчная параллельная и ленточная – во второй тип, и сельская застройка в третий тип. Данное разделение связано со схожим расположением зданий в объединенных типах. В строчной параллельной и ленточной застройке здания играют роль экранирующих сооружений и снижение происходит за счет экранирование шума зданием, чем здание длиннее, тем меньше эффект боковой дифракции сказывается на уровне шума за зданием. Строчная перпендикулярная и периметральная подразумевают наличие зданий, расположенных перпендикулярно источнику шума, разрывы между зданиями в данных типах застройки часто бывают больше чем в других, снижение шума достигается в основном за счет ограничения угла видимости источника шума.

Критерием отнесения городской застройки к какому-либо типу является отношение длин сторон зданий, при отношении равном 2 и менее, то есть если средняя длина зданий в два и менее раза меньше ширины, застройку можно относить к первому типу (строчная перпендикулярная и периметральная), если отношение более 2, застройка относится ко второму типу (строчная параллельная и ленточная).

Для определения значения коэффициента  $C$  для первого типа застройки рассмотрим его зависимость от двух параметров  $Z(X_1, X_2)$ , где  $X_1$  соответствует соотношению средней длины и ширины зданий данного типа застройки, а  $X_2$  – отношению длины пролетов между зданиями к общей длине участка.

$$X_1 = a/b, \quad (3.14)$$

где  $a$  – средняя длина фасадов здания, обращенных к источнику шума (параллельных источнику шума), м;

$b$  – средняя длина фасадов здания перпендикулярных источнику шума, м.

$$X_2 = l_{\text{просв}} / l_{\text{общ}}, \quad (3.15)$$

где  $l_{\text{просв}}$  – длина просветов между зданиями, м;

$l_{\text{общ}}$  – длина рассматриваемого участка, м.

В таблице 3.5.2 представлены данные величины.

Таблица 3.5.2. Значения параметров  $X_1$  и  $X_2$

Участок	$X_1$ Отношение длин сторон здания ( $a/b$ )	$X_2$ Длина просветов к общей длине ( $l_{\text{просв}}/l_{\text{общ}}$ )
<b>Строчная перпендикулярная</b>		
пл. Верхние котлы	0,6	0,58
Ст. Детская	0,2	0,78
Ст. Серп и Молот	0,3	0,63
Ст. Куровская	0,2	0,59
Марьино Роща (северный участок)	0,3	0,78
Новая деревня	0,15	0,65
<b>Периметральная</b>		
пл. Маленковская	2,3	0,08
Ланская	1,8	0,18
ст. Матвеевская – ст. Очаково	0,7	0,08
пос. Железнодорожный	0,7	0,52

Таким образом получается следующий набор данных для десяти участков ( $n=10$ ):

$$X_1 = \begin{matrix} 0,15 & 0,2 & 0,2 & 0,3 & 0,3 & 0,6 & 0,7 & 0,7 & 1,8 & 2,3 \\ 0,65 & 0,59 & 0,78 & 0,63 & 0,78 & 0,58 & 0,52 & 0,08 & 0,18 & 0,08 \end{matrix}$$

$$Z = 15,9 \quad 20,6 \quad 30,2 \quad 13,6 \quad 22,6 \quad 30,2 \quad 12,6 \quad 36,2 \quad 41,2 \quad 46,5$$

Значения  $Z$  (коэффициент  $C$ ) были определены по имеющимся данным о затуханиях на участках, полученных путем измерений.

Предполагая наличие функциональной зависимости, аппроксимируем эту зависимость функцией вида:

$$f(x, y) = K_1 + K_2x + K_3y + K_4xy + K_5x^2 + K_6y^2$$

Коэффициенты определяются методом наименьших квадратов, т.е. находятся коэффициенты, обеспечивающие минимум следующего функционала:

$$\sum_{i=1}^n \left[ z_i - \left[ K_1 + K_2 x_{i,1} + K_3 x_{i,2} + K_4 x_{i,1} x_{i,2} + K_5 x_{i,1}^2 + K_6 x_{i,2}^2 \right] \right]^2$$

Мерой «близости» значений аппроксимирующей функции к значениям, полученным с использованием результатов измерений будет считаться усреднённая по всем точкам среднеквадратичная разность значений полученной по результатам измерений и значений аппроксимирующей функции в этих же точках т.е.

$$DS = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ z_i - \left[ K_1 + K_2 x_{i,1} + K_3 x_{i,2} + K_4 x_{i,1} x_{i,2} + K_5 x_{i,1}^2 + K_6 x_{i,2}^2 \right] \right]^2}{n}$$

Получены следующие коэффициенты аппроксимирующей функции:

$$K^T = (39,402 \quad 6,562 \quad -109,846 \quad 9,358 \quad -5,706 \cdot 10^{-3} \quad 113,175)$$

Таким образом, значения коэффициента С могут быть рассчитаны по формуле:

$$C = 39,4 + 6,6X_1 - 109,8X_2 + 9,4X_1X_2 - 0,0057X_1^2 + 113,2X_2^2$$

При этом:

$$DS=1.598$$

Таблица 3.5.3 показывает значения аппроксимирующей функции и полученные с использованием результатов измерения затухания в одних и тех же точках.

*Таблица 3.5.3. Значения аппроксимирующей функции и полученные с использованием результатов измерения*

<b>Отношение длин сторон здания</b>	0,15	0,20	0,20	0,30	0,30	0,60	0,70	0,70	1,80	2,30
<b>Длина просветов к общей длине</b>	0,65	0,59	0,78	0,63	0,78	0,58	0,52	0,08	0,18	0,08
<b>Коэффициент С полученный с использованием результатов измерения</b>	15,90	20,60	30,20	13,60	22,60	30,02	12,60	36,20	38,12	43,50
<b>Значение квадратичной</b>	17,72	16,41	25,35	18,86	26,74	20,96	20,88	36,45	39,44	48,12

аппроксимирующей функции										
--------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Аналогично определим коэффициент  $C$  для второго типа застройки в значимости от двух параметров  $Z(X_1, X_2)$ , где  $X_1$  соответствует соотношению средней длины и ширины зданий данного типа застройки, а  $X_2$  – отношению длины проветов между зданиями к общей длине участка. Значения  $X_1$  и  $X_2$  определяются по формулам 3.14 и 3.15.

В таблице 3.5.4 представлены данные величины  $X_1$  и  $X_2$ .

Таблица 3.5.4. Значения параметров  $X_1$  и  $X_2$

Участок	$X_1$ Отношение длин сторон здания (a/b)	$X_2$ Длина проветов к общей длине (l <sub>проев</sub> /l <sub>общ</sub> )
<b>Ленточная застройка</b>		
Воздухоплавательный парк	9,1	0,01
Ст. Северное шоссе – ст. Бугач	8,7	0,08
Ст. Лосиноостровская	9,9	0,01
Ст. Проспект славы	9,6	0,01
<b>Строчная параллельная</b>		
Ст. Бугач	7,1	0,29
Ст. Столбовая	6,5	0,35
Ст. Путепровод	4,0	0,31
Ст. Девяткино	5,3	0,35
Ст. Новая Охта	5,9	0,13

Таким образом получается следующий набор данных для девяти участков (n=9):

$$X_T = \begin{matrix} 4 & 5,3 & 5,9 & 6,5 & 7,1 & 8,7 & 9,1 & 9,6 & 9,9 \\ 0,31 & 0,35 & 0,13 & 0,35 & 0,29 & 0,08 & 0,01 & 0,01 & 0,01 \end{matrix}$$

$$Z_T = 36,2 \quad 38,9 \quad 44,9 \quad 43,5 \quad 47,5 \quad 68,4 \quad 63,8 \quad 63,1 \quad 60,8$$

Значения  $Z$  (коэффициент  $C$ ) были определены по имеющимся данным о затуханиях на участках, полученных путем измерений.

Предполагая наличие функциональной зависимости, аппроксимируем эту зависимость функцией вида:

$$f(x, y) = K_1 + K_2x + K_3y + K_4xy + K_5x^2 + K_6y^2$$

Коэффициенты определяются методом наименьших квадратов, т.е. находятся коэффициенты, обеспечивающие минимум следующего функционала:

$$\sum_{i=1}^n \left[ z_i - \left[ K_1 + K_2x_{i,1} + K_3x_{i,2} + K_4x_{i,1}x_{i,2} + K_5x_{i,1}^2 + K_6x_{i,2}^2 \right] \right]^2$$

Мерой «близости» значений аппроксимирующей функции к значениям, полученным с использованием результатов измерений будет считаться усреднённая по всем точкам среднеквадратичная разность значений полученной по результатам измерений и значений аппроксимирующей функции в этих же точках т.е.

$$DS = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ z_i - \left[ K_1 + K_2x_{i,1} + K_3x_{i,2} + K_4x_{i,1}x_{i,2} + K_5x_{i,1}^2 + K_6x_{i,2}^2 \right] \right]^2}{n}$$

Получены следующие коэффициенты аппроксимирующей функции:

$$K^T = (4,666 \quad 6,009 \quad 126,182 \quad -6,015 \quad -1,928 \cdot 10^{-4} \quad -260,877)$$

Таким образом, значения коэффициента С могут быть рассчитаны по формуле:

$$C = 4,7 + 6,0X_1 + 126,2X_2 - 6,0X_1X_2 - 0,00019X_1^2 - 260,9X_2^2$$

При этом:

$$DS=1.073$$

Таблица 3.5.5 показывает значения аппроксимирующей функции и полученные с использованием результатов измерения затухания в одних и тех же точках.

Таблица 3.5.5. Значения аппроксимирующей функции и полученные с использованием результатов измерения

<b>Отношение длин сторон здания</b>	4.00	5.30	5.90	6.50	7.10	8.70	9.10	9.60	9.90
---	------	------	------	------	------	------	------	------	------

<b>Длина проветов к общей длине</b>	0.31	0.35	0.13	0.35	0.29	0.08	0.01	0.01	0.01
<b>Коэффициент С полученный с использованием результатов измерения</b>	36.20	38.90	44.90	43.50	47.50	68.40	63.80	63.10	60.80
<b>Значение квадратичной аппроксимирующей функции</b>	35.65	38.04	48.03	42.83	49.31	61.96	60.84	63.86	65.67

Далее определим коэффициент С для сельской застройки. Для определения значения коэффициента С для сельского типа застройки рассмотрим его зависимость от двух параметров  $Z(X_1, X_2)$ , где  $X_1$  соответствует плотности застройки, а  $X_2$  – отношению средней длины проветов между зданиями к общей длине участка.

$$X_1 = S_{\text{застр}} / S_{\text{общ}}, \quad (3.14)$$

где  $S_{\text{застр}}$  – площадь территории под зданиями, м<sup>2</sup>;

$S_{\text{общ}}$  – площадь рассматриваемого участка, м<sup>2</sup>.

$$X_2 = \bar{l}_{\text{просв}} / l_{\text{общ}}, \quad (3.15)$$

где  $\bar{l}_{\text{просв}}$  – средняя длина проветов между зданиями, м;

$l_{\text{общ}}$  – длина рассматриваемого участка, м.

В таблице 3.5.6 представлены данные величины для различных участков.

Таблица 3.5.6. Значения параметров  $X_1$  и  $X_2$

<b>Участок</b>	<b><math>X_1</math> Плотность (<math>S_{\text{застр}}/S_{\text{общ}}</math>)</b>	<b><math>X_2</math> Средняя длина проветов к общей длине (<math>\bar{l}_{\text{просв}}/l_{\text{общ}}</math>)</b>
Ст. Детская	0.22	0.06
Ст. Кубинка (СНТ Авиатор)	0.09	0.05
Ст. Толоконцево	0.1	0.06
СНТ Октябрь	0.06	0.06
Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	0.11	0.15
Ст. Абинская	0.11	0.5

Участок	X <sub>1</sub> Плотность (S <sub>застр</sub> /S <sub>общ</sub> )	X <sub>2</sub> Средняя длина просветов к общей длине ( $\bar{l}_{\text{просв}}/l_{\text{общ}}$ )
Ст. ЗИП	0.11	0.26
Ст. Кавказская	0.09	0.43
Ст. Невинномысская	0.09	0.18
ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	0.26	0.14
Ст. Манихино–1	0.05	0.2
СНТ Клязьма	0.02	0.2
Ст. Варениковская	0.03	0.28

Таким образом получается следующий набор данных для тринадцати участков (n=13):

$$X_T = \begin{matrix} 0,02 & 0,03 & 0,05 & 0,06 & 0,09 & 0,09 & 0,09 & 0,1 & 0,11 & 0,11 & 0,11 & 0,22 & 0,26 \\ 0,2 & 0,28 & 0,2 & 0,06 & 0,05 & 0,18 & 0,43 & 0,06 & 0,15 & 0,26 & 0,5 & 0,06 & 0,14 \end{matrix}$$

$$Z_T = 15,9 \quad 12,0 \quad 12,0 \quad 22,9 \quad 30,6 \quad 28,2 \quad 29,6 \quad 28,9 \quad 17,9 \quad 21,6 \quad 36,9 \quad 16,3 \quad 20,6$$

Значения Z (коэффициент C) были определены по имеющимся данным о затуханиях на участках, полученных путем измерений.

Предполагая наличие функциональной зависимости, аппроксимируем эту зависимость функцией вида:

$$f(x, y) = K_1 + K_2x + K_3y + K_4xy + K_5x^2 + K_6y^2$$

Коэффициенты определяются методом наименьших квадратов, т.е. находятся коэффициенты, обеспечивающие минимум следующего функционала:

$$\sum_{i=1}^n \left[ z_i - \left[ K_1 + K_2x_{i,1} + K_3x_{i,2} + K_4x_{i,1}x_{i,2} + K_5x_{i,1}^2 + K_6x_{i,2}^2 \right] \right]^2$$

Мерой «близости» значений аппроксимирующей функции к значениям, полученным с использованием результатов измерений будет считаться усреднённая по всем точкам среднеквадратичная разность значений полученной по

результатам измерений и значений аппроксимирующей функции в этих же точках т.е.

$$DS = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ z_i - \left[ K_1 + K_2 x_{i,1} + K_3 x_{i,2} + K_4 x_{i,1} x_{i,2} + K_5 x_{i,1}^2 + K_6 x_{i,2}^2 \right] \right]^2}{n}$$

Получены следующие коэффициенты аппроксимирующей функции:

$$K^T = (29,889 \quad -99,519 \quad -60,681 \quad 829,942 \quad -28,193 \quad -0,538)$$

Таким образом, значения коэффициента С могут быть рассчитаны по формуле:

$$C = 29,9 - 99,5X_1 - 60,7X_2 + 829,9X_1X_2 - 28,2X_1^2 - 0,5X_2^2$$

При этом:

$$DS=1.485$$

Таблица 3.5.7 показывает значения аппроксимирующей функции и полученные с использованием результатов измерения затухания в одних и тех же точках.

Таблица 3.5.7. Значения аппроксимирующей функции и полученные с использованием результатов измерения

<b>Плотность</b>	0.02	0.03	0.05	0.06	0.09	0.09	0.09	0.1	0.11	0.11	0.11	0.22	0.26
<b>Средняя длина просветов к общей длине</b>	0,20	0,28	0,20	0,06	0,05	0,18	0,43	0,06	0,15	0,26	0,50	0,06	0,14
<b>Коэффициент С полученный с использованием результатов измерения</b>	15,90	12,00	12,00	22,90	30,60	28,20	29,60	28,90	17,90	21,60	36,90	16,30	20,60
<b>Значение квадратичной аппроксимирующей функции</b>	19,05	16,82	20,99	23,16	21,40	23,20	26,63	20,99	23,18	26,52	33,94	13,94	23,81

Таким образом, разработанная формула для расчета снижения звука в застройке будет иметь вид:

$$\Delta L = C \lg \frac{R}{r_0} + K_{\text{выс}}, \quad (3.16)$$

где  $\Delta L$  – снижение уровня звука в расчетной точке, дБА;

С – коэффициент, зависящий от параметров застройки;

$R$  – ширина участка застройки, м;

$r_0$  – опорное расстояние, равное расстоянию от оси ближайшего пути до начала участка застройки, м;

$K_{\text{выс}}$  – коррекция на среднюю высоту застройки, дБА.

#### Для условий городской застройки:

Если  $l \leq 2$ :

$$C = 39,4 + 6,6l - 109,8p + 9,4lp - 0,0057l^2 + 113,2p^2, \quad (3.17)$$

Если  $l > 2$ :

$$C = 4,7 + 6,0l + 1262p - 6,0lp - 0,00019l^2 - 260,9p^2, \quad (3.18)$$

где  $l$  – соотношение длины и ширины зданий, определяемое по формуле:

$$l = a/b, \quad (3.19)$$

где  $a$  – средняя длина фасадов здания, обращенных к источнику шума (параллельных источнику шума), м;

$b$  – средняя длина фасадов здания перпендикулярных источнику шума, м.

$p$  – отношение длины проветров между зданиями к общей длине участка.

$$p = l_{\text{просв}}/l_{\text{общ}}, \quad (3.20)$$

где  $l_{\text{просв}}$  – длина проветров между зданиями, м;

$l_{\text{общ}}$  – длина рассматриваемого участка, м.

#### Для условий сельской застройки:

$$C = 29,9 - 99,5B - 60,7p + 829,9Bp - 28,2B^2 - 0,5p^2, \quad (3.21)$$

где  $B$  – плотность застройки;

$p$  – отношение средней длины проветров между зданиями к общей длине участка.

$$B = S_{\text{застр}}/S_{\text{общ}}, \quad (3.22)$$

где  $S_{\text{застр}}$  – площадь участков под домами, м<sup>2</sup>;

$S_{\text{общ}}$  – площадь рассматриваемого участка, м<sup>2</sup>.

$$p = \bar{l}_{\text{просв}}/l_{\text{общ}}, \quad (3.23)$$

где  $\bar{l}_{\text{просв}}$  – средняя длина проветров между зданиями, м;

$l_{\text{общ}}$  – длина рассматриваемого участка, м.

**Коррекция  $K_{\text{выс}}$  определяется по формуле:**

$$K_{\text{выс}}=10^{(0,1*Z_0)}, \quad (3.24)$$

где  $Z_0$  – уровень шероховатости застройка, м (определяется в соответствии с таблицей 3.5.8).

*Таблица 3.5.8.* Уровень шероховатости застройки и коррекция  $K_{\text{выс}}$  в зависимости от высоты застройки.

Тип застройки	Высота, м	Уровень шероховатости застройки $Z_0$ , м	Коррекция, учитывающая высоту застройки, $K_{\text{выс}}$
Пористая поверхность $G=1$ (трава)	0,2	0,02	1
Сельская застройка 1 – 2 этажа	5-8	1	1,3
Городская застройка 3 – 5 этажей	11-15	1,5	1,5
Городская застройка более 5 этажей	15-30	3	2

### ***Выводы по главе***

1. Сформулированы основные положения и допущения теории;
2. Определены параметры от которых зависит затухание звука в городской застройке: отношение длин сторон здания и отношение длины пролетов между зданиями к общей длине рассматриваемого участка;
3. Определены параметры от которых зависит затухание звука в сельской застройке: плотность застройки и отношение средней длины пролетов между зданиями к общей длине рассматриваемого участка;
4. Выявлена зависимость затухания звука в застройке от шероховатости застройки. Введена коррекция  $K_{\text{выс}}$  для учета влияния шероховатости застройки;
5. Определен коэффициент  $C$  для различных типов застройки, связывающий параметры, описанные в п. 2 и 3;

6. Представлены формулы для расчета снижения шума в условиях застройки.

## ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШУМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В ЗАСТРОЙКЕ

### 4.1. Исследования шума потоков железнодорожного транспорта

Для исследования объекта железные дороги как источника шума и их классификации для дальнейшей разработки рекомендаций по снижению шума были проведены натурные измерения шума на более чем 30 различных участках железных дорог России.

Исследования проводились на различных участках Московской, Горьковской, Северо-Кавказской и Красноярской железных дорог, относящихся к различным категориям. Измерения проводились как на участках вблизи железнодорожных станций, так и на участках, расположенных на удалении от них, рассматривались как криволинейные (радиус кривизны не менее 1000 м), так и прямолинейные участки. Примеры участков измерений представлены на рисунках 4.1.1 – 4.1.3.

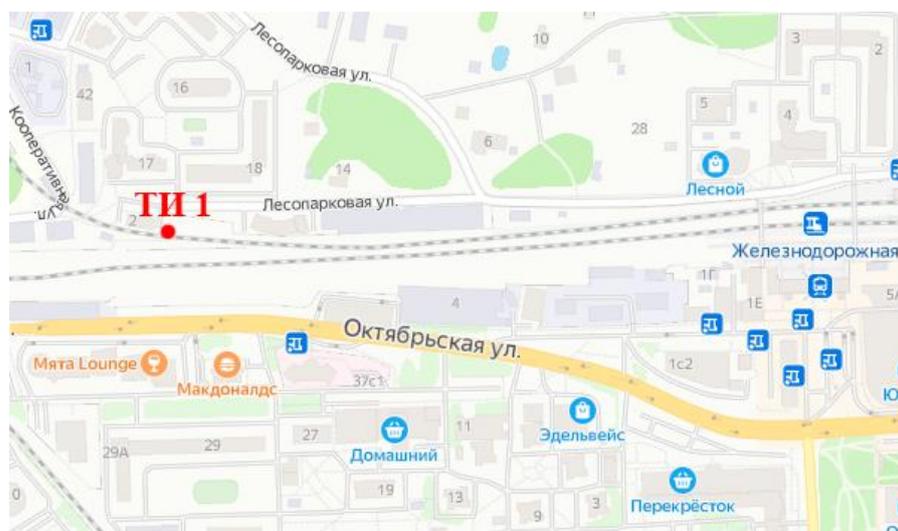


Рис. 4.1.1. Участок ст. Железнодорожная – ст. Кучино. Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи железнодорожной станции



*Рис. 4.1.2.* Участок ст. Матвеевская – ст. Очакова. Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций



*Рис. 4.1.3.* ст. Рабочий городок – ст. Ростов-Главный. Криволинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций

Измерения проводились на участках с различным типом пути, звеньевым и бесстыковым. На всех испытуемых участках кроме перегона ст. Балашиха – ст. Горенки балластный слой был из щебня, шпалы железобетонные. На перегоне ст. Балашиха – ст. Горенки балластный слой из грунта, шпалы деревянные.

Шумовые характеристики потоков железнодорожного транспорта с учетом интенсивности движения в дневное время и верхней границы неопределенности измерений представлены в Приложении 2.

Самые высокие эквивалентные уровни звука (75,7 дБА и 75,3 дБА с учетом верхней границы неопределенности измерений) были получены на участках ст. Варениковская – ст. Юровский и ст. 1574 км – ст. Мирская. Данные участки относятся ко второму классу и их характерной особенностью является высокая доля грузовых поездов в общем потоке – 50 % и более и высокая средняя скорость движения грузовых поездов – от 48 км/ч и более.

Также следует отметить, что для скоростных линий железной дороги (ст. Юрьевоц – ст. Колокша, ст. Автоприбор – ст. Боголюбово) наблюдаются высокие максимальные уровни звука, что связано с наличием высоких скоростей движения поездов и, как следствие, высоким уровнем звука при прохождении поезда, но низкой продолжительностью воздействия.

Наибольший вклад в формирование шума потока поездов оказывают грузовые поезда, а также в меньшей степени пригородные электропоезда серии ЭД4 и скоростные пассажирские поезда типа «Стриж». Вклад пассажирских поездов, электропоездов типа «Ласточка» и электропоездов типа «Иволга» значительно меньше (см. Приложение 2).

При расположении участка железнодорожной линии, на котором проводятся измерения, вблизи железнодорожной станции или на отдалении от нее, шумовая характеристика может отличаться по эквивалентному уровню звука на величину до 6 дБА и по максимальному уровню звука до 3 дБА. Такое различие обусловлено разницей средней скорости движения потока поездов на различных участках линии.

На рисунках 4.1.4 – 4.1.5 результаты, полученные для железнодорожных линий 1-го класса, представленные в таблице 4.1.1, показаны в графическом виде.

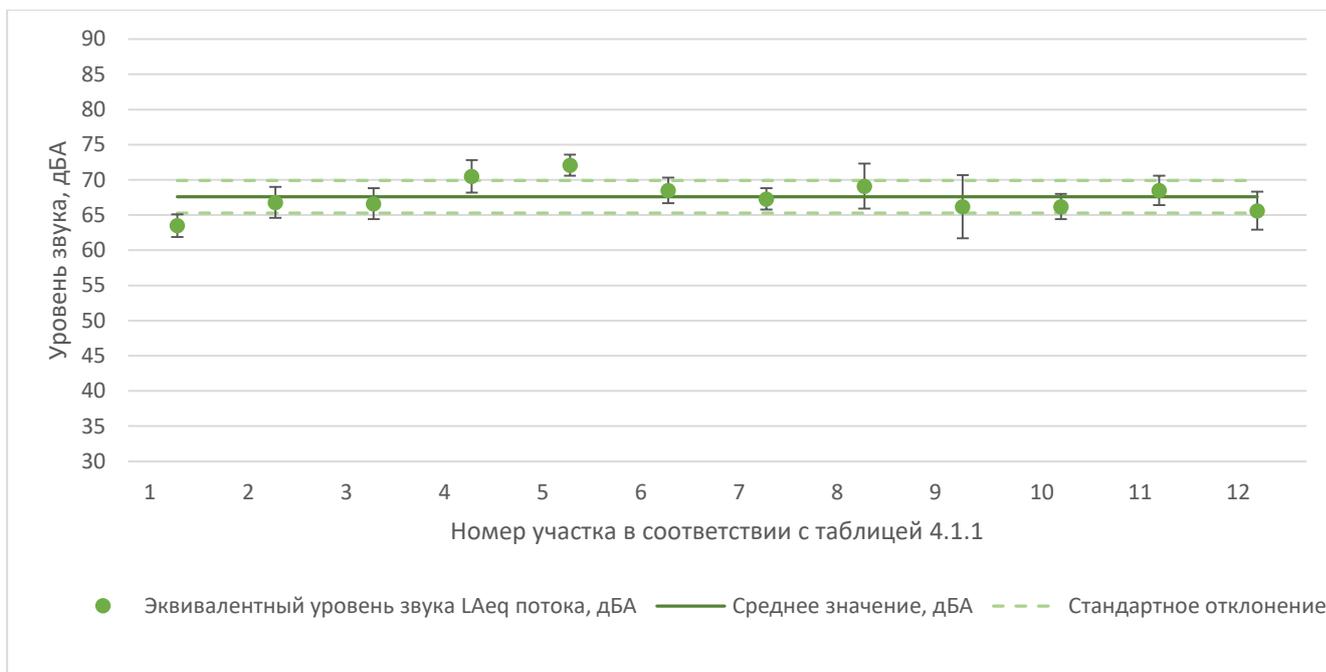


Рис. 4.1.4. Эквивалентные уровни звука с учетом неопределенности измерений для участков железных дорог, относящихся к 1 классу

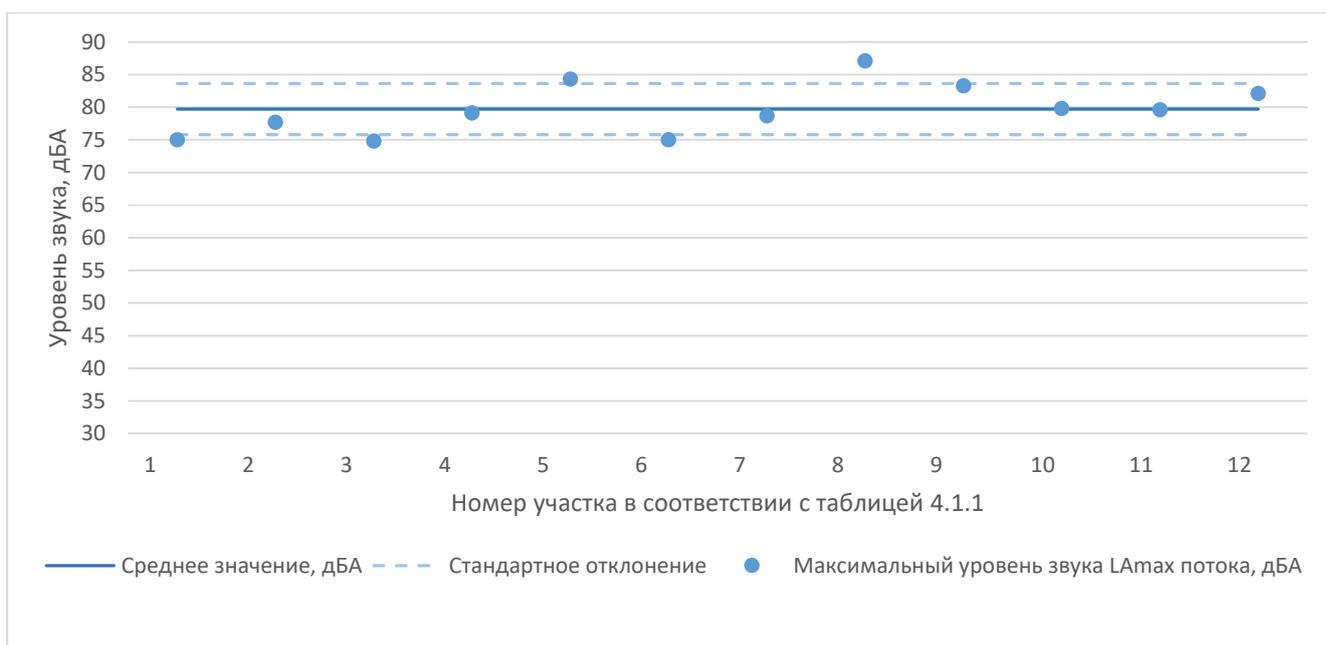


Рис. 4.1.5. Максимальные уровни звука для участков железных дорог, относящихся к 1 классу

Проанализировав полученные данные по железным дорогам 1-го класса можно сделать вывод, что среднее значение эквивалентных уровней звука равно 67,6 дБА, стандартное отклонение по данной выборке составляет 2,3. Среднее

значение максимальных уровней звука составило 79,7 дБА при стандартном отклонении 3,9.

На рисунках 4.1.6 – 4.1.7 представлены результаты определения шумовых характеристик железнодорожных линий 2-го класса.

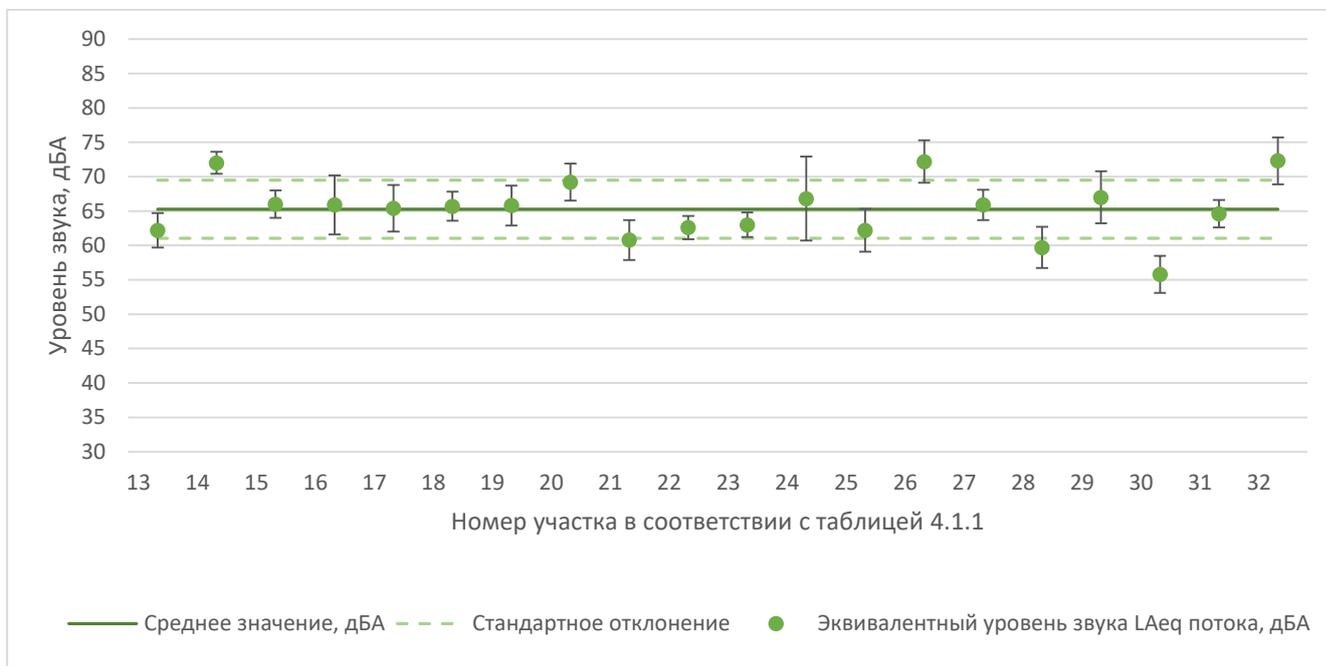


Рис. 4.1.6. Эквивалентные уровни звука с учетом неопределенности измерений для участков железных дорог, относящихся ко 2 классу

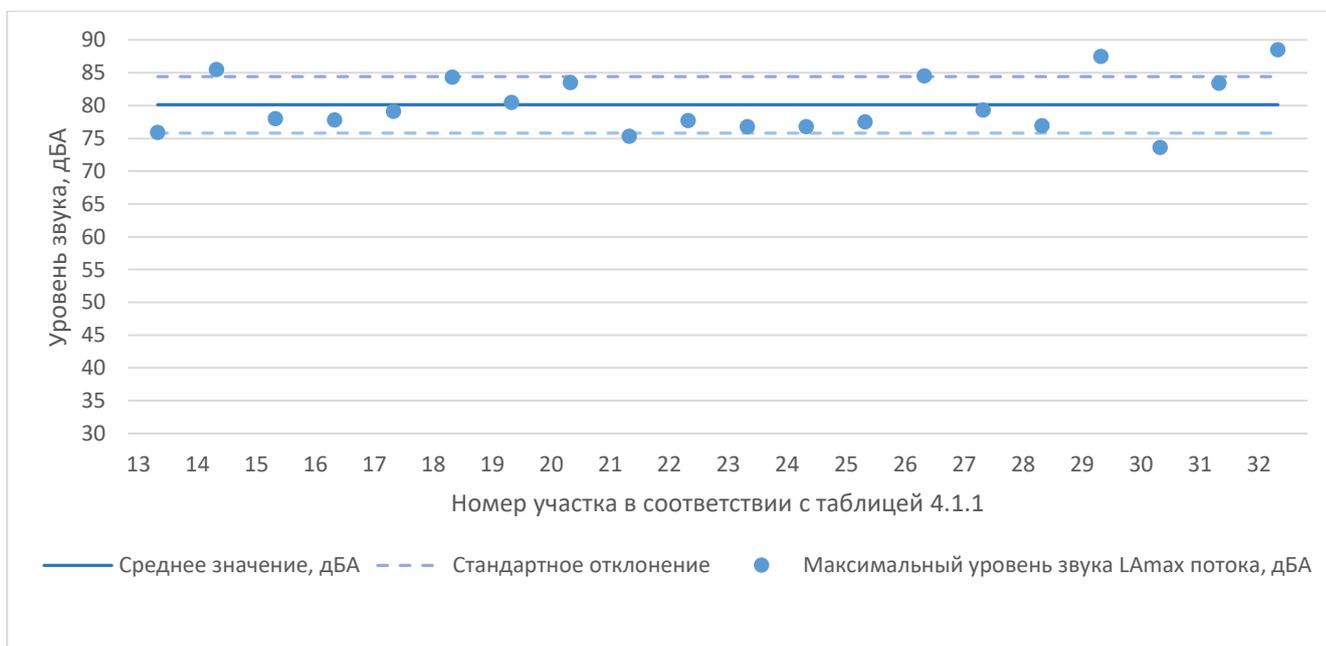
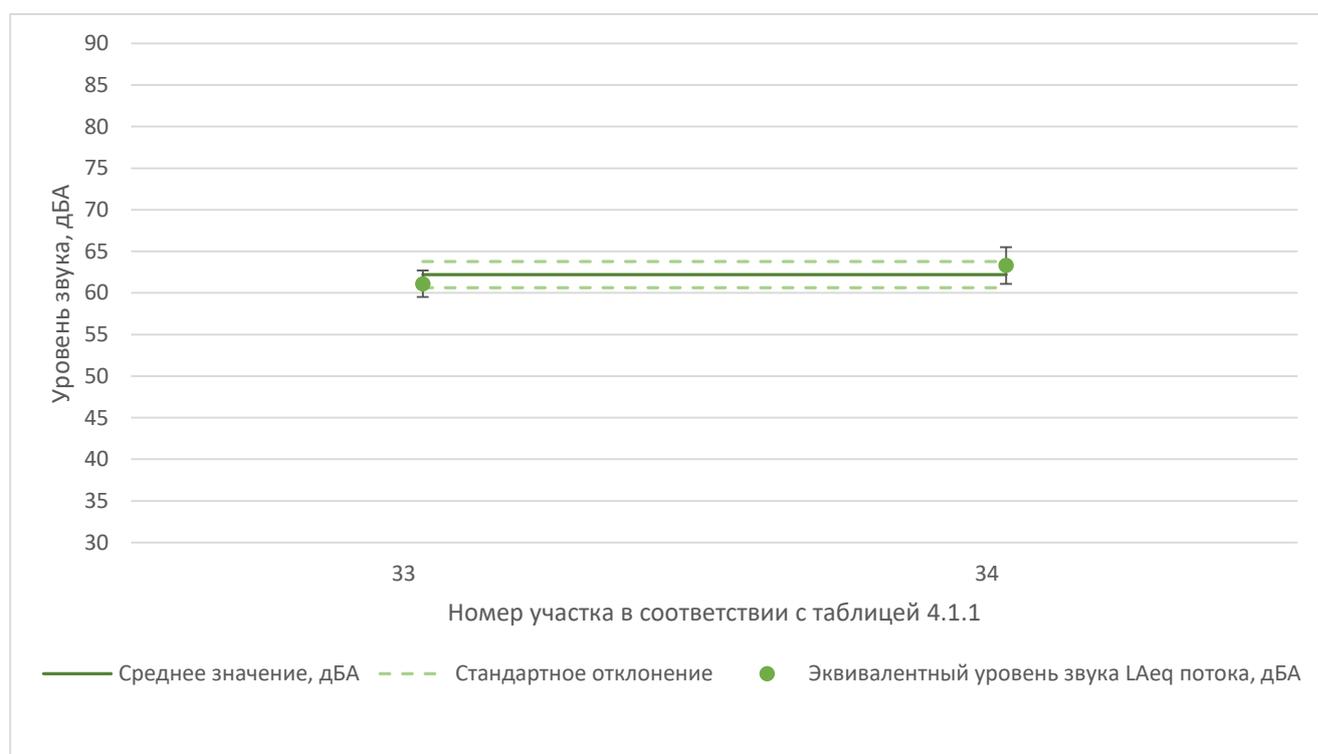


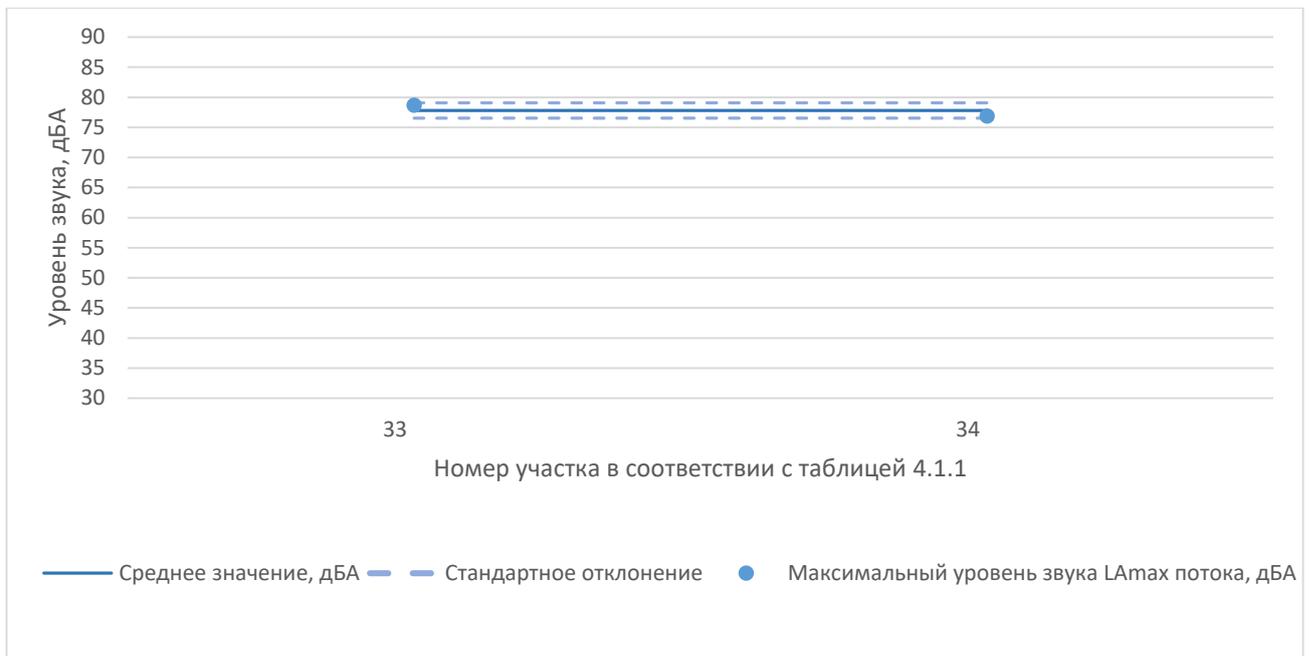
Рис. 4.1.7. Максимальные уровни звука для участков железных дорог, относящихся ко 2 классу

Проанализировав полученные данные по железным дорогам 2-го класса можно сделать вывод, что среднее значение эквивалентных уровней звука равно 65,3 дБА, стандартное отклонение по данной выборке составляет 4,2. Среднее значение максимальных уровней звука составило 80,1 дБА при стандартном отклонении 4,3.

На рисунках 4.1.8 – 4.1.9 представлены результаты определения шумовых характеристик железнодорожных линий 3-го класса.



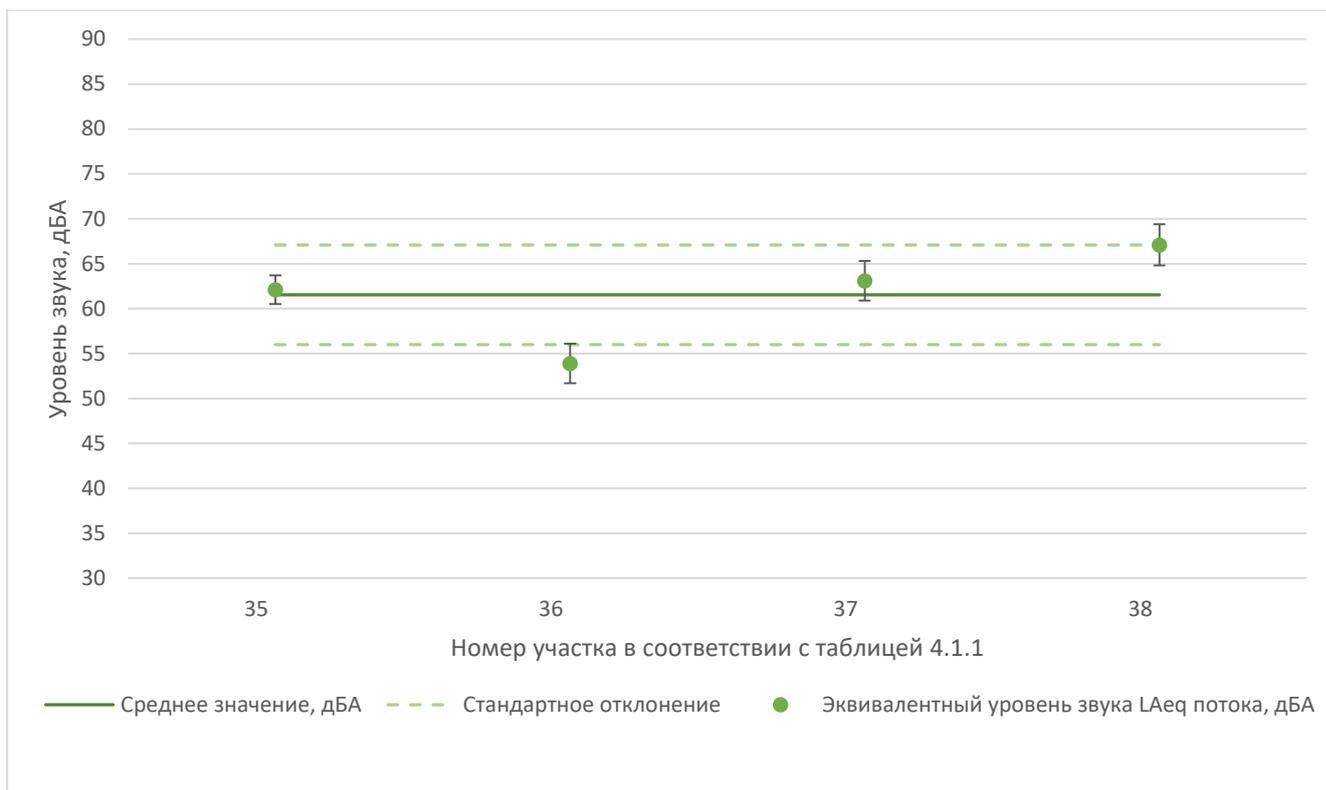
*Рис. 4.1.8.* Эквивалентные уровни звука с учетом неопределенности измерений для участков железных дорог, относящихся к 3 классу



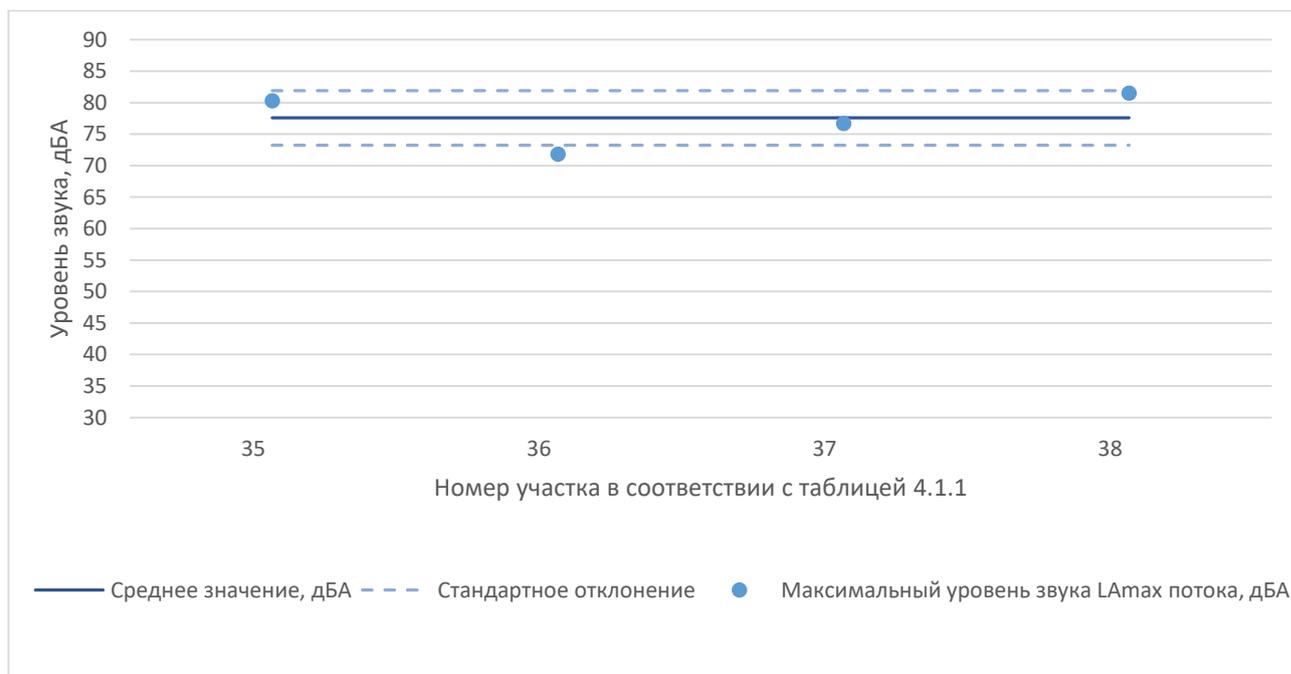
*Рис. 4.1.9.* Максимальные уровни звука для участков железных дорог, относящихся к 3 классу

Среднее значение эквивалентных уровней звука равно 62,2 дБА, стандартное отклонение по данной выборке составляет 1,6. Среднее значение максимальных уровней звука составило 77,8 дБА при стандартном отклонении 1,3.

На рисунках 4.1.10 – 4.1.11 представлены результаты определения шумовых характеристик железнодорожных линий 3-го класса.



*Рис. 4.1.10.* Эквивалентные уровни звука с учетом неопределенности измерений для участков железных дорог, относящихся к 4 классу



*Рис. 4.1.11.* Максимальные уровни звука для участков железных дорог, относящихся к 4 классу

Среднее значение эквивалентных уровней звука равно 61,6 дБА, стандартное отклонение по данной выборке составляет 5,5. Среднее значение максимальных уровней звука составило 77,6 дБА при стандартном отклонении 4,3.

В таблице 4.1.1 представлены обобщённые данные по различным классам железных дорог.

*Таблица 4.1.1* Результаты обработки данных по шумовым характеристикам участков железных дорог различных классов

<b>Характеристика</b>	<b>Эквивалентный уровень звука</b>	<b>Максимальный уровень звука</b>
<b><i>1 класс</i></b>		
Максимальное значение	72,1	87,1
Минимальное значение	63,5	74,8
Интервал	8,6	12,3
Количество участков, на которых проходили измерения	12	12
Среднее значение	67,6	79,7
Стандартное отклонение	2,3	3,9
<b><i>2 класс</i></b>		
Максимальное значение	72,3	88,5
Минимальное значение	55,8	73,6
Интервал	16,5	14,9
Количество участков, на которых проходили измерения	20	20
Среднее значение	65,3	80,1
Стандартное отклонение	4,2	4,3
<b><i>3 класс</i></b>		
Максимальное значение	63,3	78,7
Минимальное значение	61,1	76,9
Интервал	2,2	1,8
Количество участков, на которых проходили измерения	2	2
Среднее значение	62,2	77,8
Стандартное отклонение	1,6	1,3
<b><i>4 класс</i></b>		
Максимальное значение	67,1	81,5
Минимальное значение	53,9	71,8
Интервал	13,2	9,7
Количество участков, на которых проходили измерения	4	4
Среднее значение	61,6	77,6
Стандартное отклонение	5,5	4,3

Как видно из таблицы и графиков, значения шумовых характеристик участков, относящихся к одному классу, значительно варьируются. Такой разброс значения объясняется тем, что потоки поездов на железнодорожных линиях различных классов могут значительно отличаться по скорости и составу (количество грузовых, пригородных, пассажирских и скоростных поездов в потоке).

Исходя из данных, полученных для железнодорожных линий различных классов, можно сделать вывод, что шумовая характеристика потока поездов не имеет прямой корреляции с классом линии определенной по методике ОАО «РЖД», однако может быть использована для прогнозирования уровней шума потока поездов на линии определённого класса после проведения дополнительного анализа параметров линии железной дороги, таких как количество поездов различных типов и их средняя скорость движения, что будет подробнее описано в разделе 4.2.

#### ***4.2. Классификация железных дорог по уровням шума***

Железные дороги принято классифицировать исходя из объема перевозок, интенсивности движения и скорости движения поездов. На сегодняшний день существуют две различные классификации: классификация в соответствии с «Методикой классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД» от 13.01.2020 [136] и классификация в соответствии с СП 119.13330.2017 «Железные дороги колеи 1520 мм».

СП 119.13330.2017 предусматривает восемь категорий железнодорожных линий: скоростная, пассажирская, особогрузонапряженная, I, II, III, IV, V. Скоростная и пассажирская категория определяются скоростью движения поездов и составом потока, особогрузонапряженные и I – IV – объемом грузоперевозок. К скоростной категории относятся железные дороги с пассажирским движением для поездов со скоростью более 160 км/ч. К пассажирской категории относятся железные дороги с преимущественно пассажирским движением (более 50 пар пассажирских поездов в сутки, что оставляет не менее 80% всего потока) для поездов со скоростью до 160 км/ч. Особогрузонапряженные линии — это линии

для большого объема грузовых перевозок (более 80 млн т суммарно на 10-й год эксплуатации) с максимальной скоростью движения 140 км/ч. I – IV категории — это универсальные железные дороги с суммарным объемом перевозок грузов на 10-й год эксплуатации от 80 до 10 млн т и максимальной скоростью движения от 160 до 120 км/ч (с I по IV категорию соответственно). К V категории относятся подъездные пути.

В своей диссертации Буторина М.В. предлагает классификацию железнодорожных линий по уровням шума, основанную на классификации СП 119.13330.2017 [36, 134, 135]. Даная классификация представлена в таблице 4.2.1

Таблица 4.2.1 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 <sub>Аэкв25</sub> , дБА
			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 <sub>Амакс7,5</sub> )
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

На значение шумовой характеристики, приведенной в таблице 4.2.1 могут влиять различные факторы, например, кривизна участка железной дороги и тип шпал.

Для бесстыкового пути к значениям таблицы 4.2.1 следует принимать поправку минус 2 дБА, так как в данном случае будет отсутствовать шума,

возникающий при соударении колеса и стыка рельсов. При наличии бетонных шпал поправка к шумовой характеристике не применяется, а при наличии деревянных шпал необходимо учитывать поправку минус 2 дБА, так как в случае деревянных шпал отсутствует переотражение звука между корпусом поезда и шпалами. Для кривых участков пути в зависимости от радиуса кривизны следует применять поправки 3 дБА для кривых радиусом от 300 до 650 м, 8 дБА для кривых радиусом менее 300 м. Увеличение шумовой характеристики на кривых участках пути обусловлено усилением уровня звука за счет визга, наблюдающегося при трении колеса о рельс при увеличении площади контакта и возрастании давления на рельс. Также поправки необходимо принимать в случае прохождения потока поездов по мосту. В зависимости от конструкции моста поправка может составлять 0, 3 или 15 дБА.

ОАО «РЖД» использует собственную классификацию железнодорожных линий. В соответствии с «Методикой классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД» от 13.01.2020 существует 5 классов железнодорожных линий, которые отличаются по грузонапряженности (показатель интенсивности использования железнодорожной линии, характеризующий объем перевозок грузов и пассажиров на 1 км длины железнодорожной линии) и скорости движения поездов. Помимо класса данная методика также предусматривает отнесение железнодорожной линии к определенной специализации. Всего существует 7 вариантов специализации:

- Высокоскоростная железнодорожная линия – линия с установленной скоростью движения поездов более 200 км/ч;
- Скоростная железнодорожная линия – линия с установленной скоростью движения пассажирских поездов от 141 до 200 км/ч включительно;
- Особогрузонапряженная железнодорожная линия – линия с грузонапряженностью более 150 млн т-км брутто/км в год;
- Малоинтенсивная линия - линия с суммарными фактическими размерами движения пассажирских и грузовых поездов – не более пар поездов в сутки, грузонапряженностью – 5 млн т-км брутто/км в год и менее;

- Железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением – линия с массой состава грузового поезда в графике движения поездов 6300 т и более, при этом процент фактического количества поездов массой состава 6300 т и более в одном из направлений составляет 15% и более от суммарных размеров движения грузовых поездов в этом направлении;
- Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением – линия с суммарными размерами движения пассажирских и пригородных поездов по участку 60% и более от общего количества пар поездов в сутки в соответствии с графиком движения поездов;
- Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением – данная специализация присваивается линии при несоблюдении остальных условий присвоения специализации.

Железные дороги одного класса могут относиться к различным специализациям (см. таблицу 4.1.1).

Анализируя полученные в ходе эксперимента значения шумовых характеристик, можно разделить железнодорожные линии их на три группы: 1 группа – железные дороги с шумовой характеристикой по эквивалентному уровню более 70 дБА, вторая группа – от 65 до 70 дБА и третья группа менее 65 дБА.

К 1 группе были отнесены:

- Все испытанные скоростные железнодорожные линии 1 класса: Данные линии железной дороги имеют следующие характеристики: интенсивность движения около 60 поездов в дневное время суток; высокая средняя скорость всех типов поездов на участке – 97 – 112 км/ч у пригородных электропоездов, 107 – 141 км/ч у пассажирских поездов и 66 – 68 км/ч у грузовых поездов; поток поездов в дневное время суток формируется преимущественно скоростными пассажирскими поездами, пассажирскими поездами и грузовыми поездами. Грузовые поезда составляют примерно третью часть от общего количества поездов в дневное время суток.

Измерения производились на участках, расположенных на удалении от остановочных станций.

- Все испытанные в рамках данной работы особогрузонапряженные железнодорожные линии I класса: Линии имеют следующие характеристики: интенсивность движения поездов составляет на участке перегона ст. Москва-Товарная – ст. Нижегородская 199 поездов в дневное время суток, на участке перегона ст. Лосиноостровская – ст. Лось 398 поездов в дневное время суток, на участке перегона ст. Москва-Пассажирская-Курская – ст. Серп и молот 623 поезда в дневное время суток; средняя скорость поездов на участке составляет: для пригородных поездов на участках перегонов ст. Москва-Тов. – ст. Нижегородская и ст. Лосиноостровская – ст. Лось 65 км/ч и 62 км/ч соответственно, на участке перегона ст. Москва-Пассажирская-Курская – ст. Серп и Молот 36 км/ч; у пассажирских поездов на участке перегона станция Москва-Товарная – ст. Нижегородская 58 км/ч, на участке перегона ст. Москва-Пассажирская-Курская – ст. Серп и молот 40 км/ч; поток формируется преимущественно пригородными электропоездами, на двух из трех рассматриваемых линий грузовое движение полностью отсутствует, на перегоне ст. Лосиноостровская – ст. Лось доля грузовых поездов в потоке составляет менее 10% в дневное время суток. Низкая средняя скорость движения на участке ст. Москва-Пассажирская-Курская – ст. Серп и молот обусловлена близостью участка к станции и высокой интенсивностью движения на линии. Испытательные участки на перегонах ст. Москва-Товарная – ст. Нижегородская, ст. Лосиноостровская – ст. Лось располагались на удалении от остановочных станций, участок на перегоне ст. Москва-Пассажирская-Курская – ст. Серп и молот (с наибольшей интенсивностью движения из всех рассматриваемых) располагался в непосредственной близости от станции.
- Линия с тяжеловесным грузовым движением I класса: участок ст. Бугач – ст. Северное шоссе. Участок имеет следующие характеристики:

интенсивность движения составляет 129 поездов в дневное время суток, средняя скорость поездов на участке составляет: 40 км/ч у пригородных поездов, 70 км/ч у пассажирских поездов и 31 км/ч у грузовых поездов; поток формируется преимущественно грузовыми поездами (44% в потоке) и пригородными электропоездами (38% в потоке). Участок прямолинейный и расположен вблизи остановочной станции.

- Линия с тяжеловесным грузовым движением 2 класса: участок Московской железной дороги в районе ст. Куровская имеет интенсивность движения 104 поезда в дневное время суток, средняя скорость поездов на участке составляет: 34 км/ч у пригородных поездов, 37 км/ч у грузовых поездов; поток формируется всеми типами поездов в примерно равной степени, доля пригородных электропоездов – 32%, пассажирских поездов – 33%, грузовых – 35%. Рассматриваемый испытательный участок – прямолинейный и расположен вблизи остановочной станции.
- Четыре линии с преимущественно грузовым движением 1 и 2 класса: участки линий имеют следующую интенсивность движения в дневное время суток: на перегоне ст. 1574 км – ст. Мирская 89 поездов, на перегоне ст. Невинномысская – ст. 1737 км 68 поезда, на перегоне ст. Манихино-1 – ст. Троицкая 123 поезда, на перегоне ст. Абакан-Сортировочная – ст. Городок МПС 47 поездов; все участки характеризуются высокой долей грузовых поездов в потоке: на перегоне ст. 1574 км – ст. Мирская доля грузовых поездов составляет 61%, доля пассажирских поездов 30% и на пригородные поезда приходится 9% от общего количества поездов в дневное время суток, на перегоне ст. Невинномысская – ст. 1737 км доля грузовых поездов составляет 57%, доля пассажирских поездов 31% и на пригородные поезда приходится 12%, на перегоне ст. Манихино-1 – ст. Троицкая доля грузовых поездов составляет 30%, доля пригородных поездов 70%, а движение пассажирских поездов на участке полностью отсутствует, на перегоне ст. Абакан-Сортировочная – ст. Городок МПС доля грузовых поездов составляет 91%, доля пассажирских поездов и

пригородных электропоездов по 4%. Средняя скорость движения поездов составляет: на перегоне ст. 1574 км – ст. Мирская для грузовых поездов 58 км/ч, пассажирских поездов 122 км/ч, пригородных электропоездов 47 км/ч, на перегоне ст. Невинномысская – ст. 1737 км грузовых поездов 34 км/ч, пассажирских поездов 45 км/ч пригородных электропоездов 31 км/ч, на перегоне ст. Манихино-1 – ст. Троицкая для грузовых поездов 38 км/ч, для пригородных электропоездов 70 км/ч, на перегоне ст. Абакан-Сортировочная – ст. Городок МПС для грузовых поездов 28 км/ч, для пассажирских поездов 59 км/ч. Все рассматриваемые испытательные участки – прямолинейные и расположены вблизи остановочных станций.

- Две линии с преимущественно пассажирским движением 2 класса: участок ст. Варениковская – ст. Юровский имеет интенсивность 92 поезда в дневное время суток. Поток поездов представлен грузовыми поездами, их доля составляет 49% от потока, и пассажирскими поездами, их доля составляет 51% от потока, движение пригородных электропоездов на участке отсутствует. Для участка характерна высокая средняя скорость движения грузовых поездов равная 48 км/ч. Скорость движения пассажирских поездов на участке составляет 45 км/ч. Испытательный участок криволинейный и находится на расстоянии около 1 км от ближайшей станции (пассажирские поезда преимущественно проезжают данную станцию без остановки). Испытательный участок ст. ЗИП – ст. Сады имеет интенсивность 44 поезда в дневное время суток. Поток поездов представлен преимущественно пригородными электропоездами и пассажирскими поездами, однако по результатам натурных наблюдений зарегистрированы отдельные проезды и грузовых поездов по данному участку. Доля пассажирских поездов в потоке составляет 67%, доля пригородных электропоездов 33%. Участок характеризуется высокой средней скоростью движения поездов: для пригородных поездов средняя скорость на участке составляет 68 км/ч, для пассажирских поездов

74 км/ч. Испытательный участок прямолинейный и находится на удалении от станций.

Ко 2 группе были отнесены следующие линии железной дороги:

- Две железнодорожных линии с тяжеловесным грузовым движением I класса: линии имеют схожую интенсивность движения поездов в дневное время суток: 70 поездов на перегоне ст. Путепровод – ст. Красноярск-Пассажирская и 82 поезда на перегоне ст. Бугач – ст. Северное шоссе. Участок линии Красноярской железной дороги на перегоне ст. Бугач – ст. Северное шоссе характеризуется высокой долей грузовых поездов, их доля в потоке составляет 70% и отсутствием движения пассажирских поездов на участке, доля пригородных поездов составляет 30%. Скорость движения грузовых поездов на участке составляет 41 км/ч, а пригородных поездов 52 км/ч. Испытательный участок на перегоне ст. Бугач - ст. Северное шоссе прямолинейный и находится на удалении от станций. Участок линии Красноярской железной дороги на перегоне ст. Путепровод – станция Красноярск-Пасс. характеризуется малой долей грузовых поездов, их доля в потоке составляет 14 % и высокой долей пригородных электропоездов и пассажирских поездов, их доля в потоке составляет 53 % и 33 % соответственно. Также участок характеризуется низкой средней скоростью движения грузовых поездов, они составляет 28 км/ч и невысокими средними скоростями движения пригородных и пассажирских поездов, их средняя скорость движения на участке испытаний составила 38 и 50 км/ч соответственно. Испытательный участок на перегоне ст. Путепровод – ст. Красноярск-Пассажирская прямолинейный и находится вблизи от станции Путепровод.
- Десять линий с преимущественно пассажирским движением 1-4 класса: интенсивность движения на линиях: три линии (перегоны ст. Балашиха – ст. Горенки, ст. Толоконцево – ст. Рекшино, ст. Абинская – ст. Эриванский) имеют интенсивность менее 100 поездов в дневное время суток, линия на

перегоне ст. Москва-Рижская – ст. Дмитровская имеет интенсивность более 100 но менее 200, а именно 134 поезда в дневное время суток, остальные пять линий интенсивность 200 и более поездов в дневное время суток (диапазон от 200 до 361 поезда в дневное время суток). Все участки характеризуются низкой долей грузовых поездов или их полным отсутствием на линии, исключением является линия Горьковской железной дороги в районе станции Толоконцево (перегон ст. Толоконцево – ст. Рекшино) – на данном участке доля грузовых поездов в дневное время суток составляет 43 % (30 грузовых поездов). Также участок на перегоне ст. Толоконцево – ст. Рекшино характеризуется высокими средними скоростями движения пассажирских и грузовых поездов, она составляет 100 и 56 км/ч соответственно, средняя скорость пригородных электропоездов составляет 56 км/ч. Диапазоны скоростей на других участках: для пригородных поездов от 31 до 71 км/ч, пассажирских поездов от 49 до 81 км/ч, грузовых поездов от 38 до 53 км/ч. Поток поездов на линиях формируется преимущественно пригородными электропоездами их доля на участках составляет от 67 до 100 % от потока в дневное время суток, исключением являются участок линии на перегоне ст. Толоконцево – ст. Рекшино, где доля пригородных поездов составляет 38% и меньше доли грузовых поездов, и участок линии на перегоне ст. Абинская – ст. Эриванский доля пригородных поездов составляет 10% от потока в дневное время и поток формируется преимущественно пассажирскими (доля 51%) и грузовыми (доля 39%) поездами. Все рассматриваемые испытательные участки линий – прямолинейные.

- Четыре линий с преимущественно грузовым движением 2 класса и одна линия с преимущественно грузовым движением 4 класса: участки характеризуются относительно низкой интенсивностью движения поездов в дневное время суток: на пяти линиях интенсивность движения менее 100 поездов и только участок линии Московской железной дороги имеет

интенсивность 127 поездов (такая интенсивность на участке обусловлена наличием в потоке пригородных электропоездов Московского центрального диаметра (МЦД). Доля грузовых поездов на участках составляет от 60% до 93% (не учитывая линию Московской железной дороги, на которой осуществляется движение поездов МЦД, доля грузовых поездов на ней составляет 26%). Средняя скорость движения грузовых поездов на участках составляет от 28 км/ч до 58 км/ч, пригородных электропоездов от 34 до 64 км/ч, а средняя скорость движения пассажирских поездов составляет 37 км/ч на перегоне ст. 7 км – ст. Милованово, 50 км/ч на перегоне станция Кавказская – ст. 1578 км, и 114 км/ч на перегоне ст. Столбовая – ст. Молоди. Все рассматриваемые испытательные участки линий – прямолинейные. Все участки, за исключением участка на перегоне ст. Абакан – ст. Мостоотряд, расположены вблизи станций.

В 3 группу входят следующие линии железной дороги:

- Четыре участка линий с преимущественно пассажирским движением 2-3 класса: интенсивность движения на линиях: линия Северо-Кавказской железной дороги на перегоне ст. Рабочий городок – ст. Ростов-Главный, включающая в себя два испытательных участка, имеет интенсивность движения 122 поезда в дневное время суток из них 18 пригородных электропоездов, 72 пассажирских поезда и 32 грузовых поезда; линия Московской железной дороги на перегоне ст. Детская – ст. Фрязино-Товарная имеет интенсивность 45 пригородных поездов, движения пассажирских поездов на линии не производится, но имеются отдельные проезды грузовых поездов; линия Северо-Кавказской железной дороги на перегоне ст. Краснодар-2 ст. ЗИП имеет 44 поезда (14 пригородных электропоездов и 30 пассажирских поездов). Все участки характеризуются низкой средней скоростью движения: средняя скорость движения пригородных поездов на рассматриваемых участках составляет от 24 до 49 км/ч, пассажирских поездов от 38 до 56 км/ч и грузовых поездов от 25

до 38 км/ч. Все линии, за исключением одного из испытательных участков на перегоне ст. Рабочий городок – ст. Ростов-Главный, представлены прямолинейными участками. Все участки, за исключением испытательного Московской железной дороги на перегоне ст. Детская – ст. Фрязино- Товарная, расположены на удалении от станций.

- Три линии с преимущественно грузовым движением 2 класса: все участки характеризуются низкой интенсивностью движения поездов в дневное время суток: интенсивность движения на рассматриваемых участках составляет от 30 до 39 поездов в дневное время суток. Поток поездов на данных участках формируется преимущественно грузовыми поездами: доля грузовых поездов составляет от 79% до 94%. На участках на перегонах ст. Кубинка-1 – ст. Кубинка-2 и ст. Городская – ст. Садовая отсутствует движение пассажирских поездов в дневное время суток, а на испытательном участке на перегоне ст. Кавказская – ст. Гетмановская интенсивность движения пассажирских поездов составляет два поезда в дневное время суток. Интенсивность движения пригородных электропоездов на участках составляет от 2 до 8 поездов в дневное время суток. Также для рассматриваемых участков характерна низкая скорость движения всех типов поездов: средняя скорость движения грузовых поездов на участках составляет от 26 до 32 км/ч, пригородных электропоездов 30 км/ч. Все рассматриваемые испытательные участки линий прямолинейные. Испытательные участки на перегонах ст. Городская – ст. Садовая и ст. Кавказская – ст. Гетмановская расположены вблизи железнодорожных станций, участок на перегоне ст. Кубинка-1 – ст. Кубинка-2 расположен на удалении от станции.

В таблице 4.2.2 представлена классификация железнодорожных линий с указанием эквивалентных уровней звука на расстоянии 25 м для каждого класса, разработанная по данным, полученным в ходе выполнения измерений (см. раздел 4.1).

Таблица 4.2.2. Классификация железных дорог в соответствии с методикой ОАО «РЖД»

Годовая грузонапряженность (млн т-км брутто/км)	Класс железнодорожной линии при средней технической скорости движения поездов, км/ч, в числителе – пассажирские, в знаменателе – грузовые ( $L_{\text{экв}25}$ , дБА)							
	>110	>77 и <110	>66 и <76	>55 и <65	>44 и <54	>33 и <43	>23 и <32	22 и менее
	>90	>77 и <90	>54 и <76	>49 и <53	>43 и <48	>33 и <42	>23 и <32	
Более 150	-	1 (>70 дБА)	2 (>65 и <70 дБА)					
81–150	-	1 (>70 дБА)	1 (>70 дБА)	1 (>65 и <70 дБА)	1 (>70 дБА)	2 (>70 дБА)	2 (>65 и <70 дБА)	3 (<65 дБА)
51–80	1 (>70 дБА)	1 (>70 дБА)	1 (>70 дБА)	1 (>65 и <70 дБА)	2 (>70 дБА)	2 (>70 дБА)	3 (>65 и <70 дБА)	4 (<65 дБА)
26–50	1 (>70 дБА)	1 (>65 и <70 дБА)	2 (>65 и <70 дБА)	2 (>65 и <70 дБА)	3 (>65 и <70 дБА)	3 (<65 дБА)	4 (>65 и <70 дБА)	4 (<65 дБА)
11–25	1 (>70 дБА)	1 (>65 и <70 дБА)	2 (>65 и <70 дБА)	3 (>65 и <70 дБА)	3 (>65 и <70 дБА)	4 (>65 и <70 дБА)	4 (>65 и <70 дБА)	5 (-)
6–10	1 (>70 дБА)	2 (>65 и <70 дБА)	3 (>65 и <70 дБА)	3 (>65 и <70 дБА)	4 (>65 и <70 дБА)	4 (>65 и <70 дБА)	5 (-*)	5 (-)
5 и менее	2 (>70 дБА)	2 (>65 и <70 дБА)	3 (>65 и <70 дБА)	4 (>65 и <70 дБА)	4 (>65 и <70 дБА)	5 (-)	5 (-)	5 (-)

**Примечание:** \* - измерения уровней шума для железнодорожных линий 5-го класса не проводились.

### 4.3. Расчет распространения шума в городской застройке

Для проверки достоверности полученных формул были проведены расчеты распространения шума по ГОСТ 31295.2-2005 и расчеты по формулам, представленным в главе 3, для 13 участков городской застройки. Схемы участков представлены в 3.2.

Рассмотрим участки, относящиеся к строчной параллельной застройке, на данных участках типовая застройка формируется, начиная со 100 м от железной дороги, участок застройки до 100 м представляет собой хаотично расположенные подсобные сооружения, затухание на нем не может быть оценено формулами из главы 3, поэтому расчет будет производиться для затухания со 100 до 200 м по формулам 3.16, 3.18, 3.24. В качестве опорного расстояния  $r_0$  принимается 100 м.

В таблице 4.3.1 представлены результаты расчетов затухания звука для данных участков.

Таблица 4.3.1. Затухания шума в строчной параллельной застройке

№ п/п	Участки	Эксперимент	ГОСТ 31295.2	Расчетные формулы
<b>Затухание 100-200 м, дБА</b>				
1	Ст. Столбовая	14,5	7,90	14,3
2	Ст. Путепровод	12,9	6,80	12,7
3	Ст. Бугач	15,7	15,20	16,6

По аналогичным формулам выполнен расчет для участков с ленточной застройкой. Для участка ст. Лосиноостровская расчет выполняется для затухания со 100 до 200 м, а для ст. Северное шоссе – ст. Бугач может быть оценено затухание при распространении звука с 25 до 50 м (см. рис. 3.2.23). Результаты расчетов представлены в таблице 4.3.2.

Таблица 4.3.2. Затухания шума в ленточной застройке

№ п/п	Участки	Эксперимент	ГОСТ 31295.2	Расчетные формулы
<b>Затухание 25-50 м, дБА</b>				
4	Ст. Северное шоссе – ст. Бугач	8,1	4,7	10,6
<b>Затухание 100-200 м, дБА</b>				
5	Ст. Лосиноостровская	20,30	5,70	21,8

№ п/п	Участки	Эксперимент	ГОСТ 31295.2	Расчетные формулы
6	Ст. Северное шоссе – ст. Бугач	22,60	6,80	20,7

Далее в таблице 4.3.3 представлены результаты расчета для строчной параллельной застройки. На различных участках типовая жилая застройка начинает форматироваться на различных расстояниях от железной дороги (см. рис. 3.2.8 – 3.2.12). Расчет выполнялся в соответствии с формулами 3.16, 3.17, 3.24.

Таблица 4.3.3. Затухания шума в строчной перпендикулярной застройке

№ п/п	Участки	Эксперимент	ГОСТ 31295.2	Расчетные формулы
<b>Затухание 25-50 м, дБА</b>				
7	Ст. Серп и Молот	6,9	8,8	8,4
<b>Затухание 50-100 м, дБА</b>				
8	Ст. Марьина Роща (северный участок)	5,1	7,3	6,5
9	Пл. Верхние Котлы	5,4	5,1	5,6
<b>Затухание 100-200 м, дБА</b>				
10	Ст. Детская	11,1	8,6	9,7
11	Марьина Роща (северный участок)	8,8	5,8	10,1
12	Ст. Серп и Молот	5,5	5,3	6,1
13	Ст. Куровская	7,6	4,8	6,4
14	Пл. Верхние Котлы	10,5	8,7	8,7

Для участков с периметральной застройкой был проведен расчет затухания звука при распространении со 100 до 200 м (см. рис. 3.2.16 – 3.2.18). Результаты расчета представлены в таблице 4.3.4.

Таблица 4.3.4. Затухания шума в периметральной застройке

№ п/п	Участки	Эксперимент	ГОСТ 31295.2	Расчетные формулы
<b>Затухание 100-200 м, дБА</b>				
15	ст. Матвеевская – ст. Очаково	12,9	6,1	13,0
16	пос. Железнодорожный	7,9	5,8	8,3
17	пл. Маленковская	15,5	16,0	16,5

Расчеты для всех участков приведены в Приложении 3.

Определим уровни шума в расчетных точках на территории жилой застройки на участке ст. Марьино роша, зная значение шумовой характеристики потока поездов. Данный участок выбран в связи с отсутствием экранирующих сооружений на расстоянии до 50 м от железной дороги и сформировавшимся типом застройки начиная с 50 м. Эквивалентный уровень звука потока железнодорожного транспорта на данном участке составляет 55,4 дБА.

Уровень звука в расчетной точке на расстоянии 100 м от железной дороги равен:

$$L_{PT100} = L_{экв} - C \lg \frac{R}{r_0} - K_{выс} = 55,4 - 19,7 * \lg \frac{100}{25} - 2 = 41,5 \text{ дБА}$$

Уровень звука в расчетной точке на расстоянии 200 м от железной дороги равен:

$$L_{PT200} = L_{экв} - C \lg \frac{R}{r_0} - K_{выс} = 55,4 - 26,8 * \lg \frac{200}{25} - 2 = 29,2 \text{ дБА}$$

Данные значения имеют хорошую сходимость с результатами программного расчета, которые составляют 40,1 дБА на расстоянии 100 м и 31,4 дБА на расстоянии 200 м.

На рисунке 4.3.1 предоставлено графическое отображение результатов, полученных в таблицах 4.3.1. – 4.3.4.

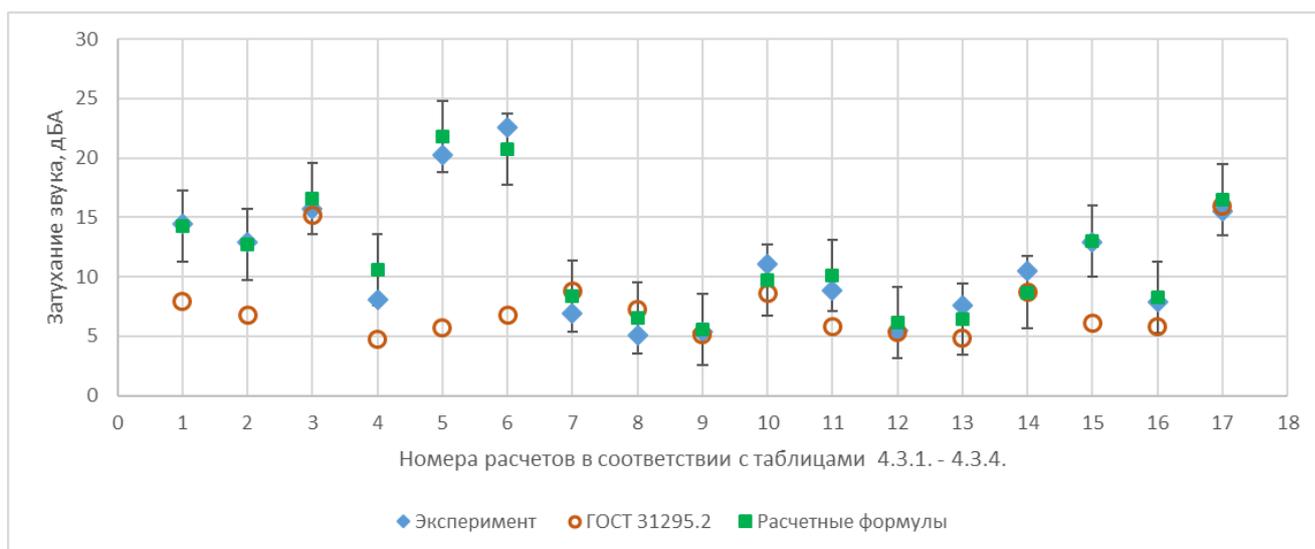


Рис. 4.3.1. График затуханий звука, полученных различными способами

Проанализировав результаты расчетов в таблицах 4.3.1 – 4.3.4 и график на рисунке 4.3.1, можно сделать вывод, что разница результатов, полученных по расчетным формулам главы 3 с результатами эксперимента не превышает 3 дБА, что можно считать хорошей сходимостью.

#### **4.4. Расчет распространения шума в сельской застройке**

Аналогичные расчеты и сравнения результатов были проведены для сельской застройки. Расчеты представлены в Приложении 3. В таблице 4.4.1 представлены результаты расчетов затухания звука на участках сельской застройки, полученные различными способами.

*Таблица 4.4.1. Затухания шума в сельской застройке*

№ п/п	Участки	Эксперимент	ГОСТ 31295.2	Расчетные формулы
<b>Затухание 25-50 м, дБА</b>				
1	Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	7,3	4,4	8,8
<b>Затухание 50-100 м, дБА</b>				
2	Ст. Толоконцево	6,30	4,4	8,3
3	СНТ Октябрь	8,40	4,0	8,2
4	Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	7,30	4,0	8,8
5	Ст. Абинская	8,80	4,1	10,0
6	Ст. ЗИП	6,40	4,4	8,26
7	ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	8,3	4,9	7,2
8	Ст. Варениковская	9,4	4,9	8,8
<b>Затухание 100-200 м, дБА</b>				
9	Ст. Детская	5,9	5,9	5,5
10	Ст. Кубинка (СНТ Авиатор)	10,2	5,3	7,7
11	Ст. Толоконцево	9,7	5,4	7,6
12	СНТ Октябрь	7,9	1,4	8,2
13	Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	6,4	4,6	7,2
14	Ст. Абинская	12,1	4,8	11,4
15	Ст. ЗИП	7,5	5,8	9,3
16	Ст. Кавказская	9,9	2,4	9,3
17	Ст. Невинномысская	9,5	4,9	8,3
18	ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	7,2	5,5	8,4
19	Ст. Манихино–1	4,6	4,6	6,6

№ п/п	Участки	Эксперимент	ГОСТ 31295.2	Расчетные формулы
20	СНТ Клязьма	6,0	5,8	7,0
21	Ст. Варениковская	5,0	4,6	6,3

На рисунке 4.4.1 предоставлено графическое отображение результатов, полученных в таблице 4.4.1.

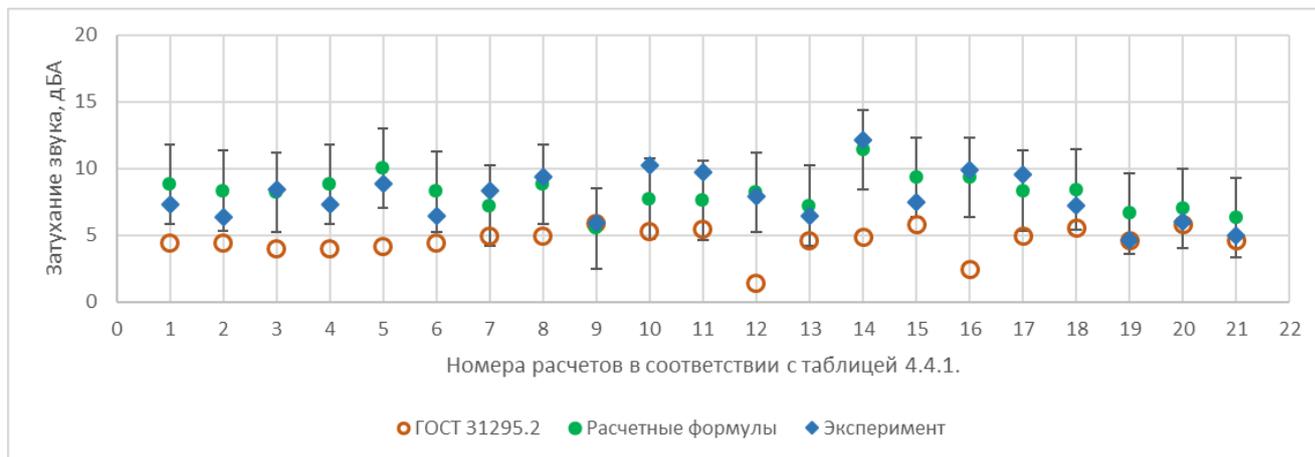


Рис. 4.4.1. График затуханий звука, полученных различными способами

Проанализировав результаты расчетов в таблице 4.4.1 и график на рисунке 4.4.1, можно сделать вывод, что разница результатов, полученных по расчетным формулам главы 3 с результатами эксперимента не превышает 3 дБА, что можно считать хорошей сходимостью.

### **Выводы по главе**

1. Представлены результаты измерений шумовых характеристик участков железных дорог различных каторгой;
2. Составлена классификация железных дорог по их шумовым характеристикам в соответствии с «Методикой классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД» от 13.01.2020;
3. Выполнены расчеты затухания звука при распространении в застройке по предложенным в главе 3 формулам. Проведено сравнение полученных результатов с результатами эксперимента и с результатами расчета по ГОСТ 31295.2-2005.

Получена удовлетворительная сходимость расчетов по формулам с результатами измерений.

## **ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ПО РАЗМЕЩЕНИЮ НОРМИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И ВЫБОРУ ШУМОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### ***5.1. Разработка методических указаний по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов железнодорожного транспорта***

Как было описано в Главе 1 различные типы застройки требуют различного подхода к разработке шумозащитных мероприятий. Общий алгоритм выбора шумозащитных мероприятий состоит из двух этапов: 1) определение требуемого снижения шума и выбор шумозащитного мероприятия на основании акустических расчетов; 2) обоснование возможности устройства выбранных шумозащитных конструкций на основании результатов инженерно-геологических и инженерно-геодезических изысканий, а также анализа данных о строении железнодорожного пути и детальный расчет параметров шумозащитных конструкций.

При выборе шумозащитных мероприятий следует отдавать предпочтение тем шумозащитным конструкциям, которые способны самостоятельно обеспечить требуемое снижение шума. Если подобрать одно шумозащитное мероприятие, обеспечивающее требуемое снижение шума, невозможно, следует рассмотреть комплекс из нескольких шумозащитных мероприятий.

В случае строительства нового железнодорожного пути следует в первую очередь предусматривать мероприятия по снижению шума в источнике, затем на пути распространения, и в последнюю очередь в защищаемом объекте.

Требования к шумозащитным конструкциям на железных дорогах представлены в ГОСТ 33325-2015, ГОСТ 33329-2015, СП 51.13330.2011, СП 119.13330.2017, СП 276.1325800.2016, а также в документах, которые регламентируют:

— снижение шума на нормируемом объекте;

- механическую прочность и устойчивость шумозащитных конструкций в условиях эксплуатации;
- конфигурацию конструкций с учетом ограничений, связанных с параметрами полосы отвода железной дороги;
- пожаробезопасность;
- бесперебойную работу системы водоотвода с железной дороги с учётом обеспечения акустической эффективности шумозащитного сооружения;
- безопасность движения при размещении шумозащитных конструкций вдоль путей, а также, обеспечение беспрепятственного доступа для оказания помощи и эвакуации пострадавших;
- долговечность с учётом агрессивности среды эксплуатации;
- способность шумозащитных конструкций препятствовать снегозаносимости железнодорожных путей;
- транспортабельность, монтаж и эксплуатацию, удобство в обслуживании, ремонтпригодность и замену повреждённых в ходе эксплуатации элементов;
- архитектурное решение, эстетически благоприятный вид, удачное сочетание с ландшафтом.

В таблице 5.1.1 приведена оценочная эффективность различных шумозащитных мероприятий. [82]

*Таблица 5.1.1* Оценочная эффективность мероприятий по защите от шума железнодорожного транспорта

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование мероприятия</b>	<b>Оценочная эффективность шумозащитного мероприятия</b>
1	Устройство шумозащитных экранов (при обеспечении требуемой высоты и протяженности)	до 20 дБА
2	Шумозащитное остекление	до 10 дБА (на нормируемой территории) и до нормативных значений (внутри нормируемых помещений)
3	Устройство земляных (грунтовых) валов или устройство шумозащитных выемок (при обеспечении требуемой протяженности)	до 5 дБА (при высоте конструкции до 2 метров над головкой рельса) и до 15 дБА (при высоте конструкции до 5 метров над головкой рельса)

№ п/п	Наименование мероприятия	Оценочная эффективность шумозащитного мероприятия
4	Размещение протяженных зданий и сооружений, входящих в инфраструктуру железной дороги, на пути распространения шума вдоль железной дороги	до 25 дБА
5	Ограничение скорости движения железнодорожного транспорта при прохождении жилой застройки	до 3 дБА
6	Устройство шумозащитных зелёных насаждений (при обеспечении требуемой протяженности)	до 15 дБА (при ширине 30 – 50 м и соблюдении требований к шумозащитным зеленым насаждениям) до 4 дБА на 100 м (обычные зеленые насаждения)
7	Устройство шумозащитных галерей (при обеспечении требуемой протяженности)	до 30 дБА
8	Устройство накладок на шейку рельса	до 3 дБА
9	Малые шумозащитные экраны	до 5 дБА
10	Подбалластные маты	до 2 дБА
11	Бесстыковый путь	до 2 дБА
12	Шлифование рельсов	до 3 дБА
13	Трассирование железной дороги на удалении от нормируемых объектов (защита расстоянием)	до 3 дБА при каждом удвоении расстояния (от 3 дБА при расстоянии до 25 метров до 15 дБА при расстоянии 400 метров)

Шумозащитные зеленые насаждения не рекомендуется применять при близком расположении жилых домов к железной дороге, так как при уменьшении ширины лесополосы ее эффективность значительно снижается. Шумозащитные экраны, как и шумозащитные валы эффективны для всех типов застройки, однако следует помнить, что устройство шумозащитных валов требует наличие большего пространства между защищаемым объектом и железной дорогой. Шумозащитные экраны являются эффективным средством снижения шума во всех типах застройки. Шумозащитные галереи следует выбирать в качестве шумозащитного мероприятия только в многоэтажной застройке, в малоэтажной застройке данная мера снижения шума будет избыточной. Шумозащитное остекление может применяться для снижения шума на верхних этажах зданий, где другие средства снижения шума на пути его распространения не являются эффективными, в связи с этим, шумозащитное остекление может применяться в средне и многоэтажной застройке. Малые шумозащитные экраны также могут быть эффективны для всех типов

застройки, однако наиболее рационально применять их для низкой городской и сельской застройки, для защиты от шума многоэтажных строений предпочтительнее использовать высокие шумозащитные экраны. Ограничение скорости движения железнодорожного транспорта при прохождении жилой застройки является эффективной мерой защиты от шума в условиях любой застройки. Такие способы снижения шума как шумозащитные выемки, подбалластные маты и бесстыковой могут быть использованы только при новом строительстве железных дорог, так как требуют переукладывания всего пути, тем не менее данные методы являются эффективными. [137]

Для выбора шумозащитных мероприятий целесообразно разделить различные виды застройки на четыре типа: сельская застройка, городская многоэтажная застройка, городская среднеэтажная застройка, застройка, расположенная ближе 50 м к железной дороге. В таблице 5.1.2 представлен перечень мероприятий, рекомендуемых для каждого типа застройки.

Таблица 5.1.2 Мероприятия, обеспечивающие требуемое снижение шума

№ п/п	Область принятия решения	Рекомендуемые мероприятия										
		шумозащитные зеленые насаждения	земляные грунтовые валы	шумозащитные экраны	шумозащитные галереи	шумозащитное остекление	накладки на шейку рельса	малые шумозащитные экраны	ограничение скорости движения железнодорожного транспорта при прохождении жилой застройки	шумозащитные выемки *	подбалластные маты *	бесстыковой путь *
1	Среднеэтажная городская застройка	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
2	Садоводческие товарищества, малые жилые массивы	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
3	Многоэтажная застройка	+	+	+	+	+	+	±	+	-	+	+
4	Близко расположенная застройка (до 50 м)	-	+	+	+	+	+	±	+	+	+	+

Примечание: \* – данные мероприятия требуют капитального ремонта пути.

## ***5.2. Разработка методических указаний по размещению нормируемых объектов вблизи железных дорог***

При расширении территории для нового строительства вблизи железных дорог целесообразно подбирать типовые шумозащитные мероприятия в зависимости от типа застройки, ее удаленности от путей и категории путей, также следует размещать объекты строительства таким образом, чтобы в первом эшелоне застройки не располагались здания, к которым применяются наиболее жесткие нормы по шуму. В таблице 5.2.1 представлены различные варианты расположения застройки на территории. Территория застройки вблизи железной дороги была разделена на 6 зон по степени удаленности от путей. Первая зона до 25 м от путей, вторая зона от 25 до 50 м, третья зона от 50 до 100 м, четвертая зона от 100 до 200 м, пятая зона от 300 до 400 м, и шестая зона на расстоянии свыше 400 м от железной дороги. Категории объектов застройки выбирались в соответствии с СанПиНом 1.2.3685-21. Необходимый перечень шумозащитных мероприятий для тех или иных объектов определялся исходя из прогнозируемых превышений предельно допустимых уровней шума в данной зоне. Перечень рассматриваемых мероприятий:

1. Шумозащитное остекление (класс звукоизоляции не ниже В);
2. Шумозащитные экраны;
3. Шлифование рельсов;
4. Шумозащитные зеленые насаждения;
5. Расположение протяженных ненормируемых зданий.

Вывод о превышениях был сделан путем расчета распространения звука от железной дороги определенного класса с известной шумовой характеристикой (см. таблицу 4.2.1), с учетом допущения, что затухание звука от железной дороги, как от линейного источника шума, происходит на 3 дБА с удвоением расстояния, то есть на 3 дБА в каждой зоне. В первой зоне, наиболее приближенной к источнику шума, не рекомендуется располагать объекты, территория возле которых нормируется. Это связано с тем, что превышения в этой зоне даже для наименее

шумной категории железной дороги IV может достигать 10 дБА (при норме в 55 дБА) (см. таблицу 4.2.1), для снижения уровней шума на территории до нормы требуется применение таких шумозащитных мероприятий как шумозащитные экраны, насыпи, которые, в свою очередь, требуют пространства для размещения, которого не хватает на участке шириной 25 м. В этой зоне допускается расположение общественных и промышленных объектов, в качестве шумозащитных мероприятий необходимо использовать шумозащитное остекление. В зонах 25 – 50 м и 50 – 100 м можно располагать любые объекты, кроме больниц и площадок отдыха, однако в большинстве случаев для этого требуется применение комплекса шумозащитных мероприятий, для жилых домов, образовательных организаций и поликлиник это в первую очередь шумозащитные экраны, шумозащитное остекление, расположение между защищаемым объектом и железной дорогой протяженных ненормируемых по шуму зданий, зеленые насаждения, шлифование рельсов. Зоны 100 – 200 м и 200 – 400 м также предусматривают размещение любых объектов, а в качестве мероприятий по защите от шума допускается использовать отдельные мероприятия, а не их комплекс, например, только установку шумозащитного экрана. Исключение составляют территории вблизи скоростных, пассажирских и особогрузонапряженных линий. В случае расположения на таких территориях жилой застройки или гостиниц, для их защиты от шума, необходимо будет применить комплекс шумозащитных мероприятий. На расстояниях свыше 400 м от железной дороги допустимо расположение любых объектов, кроме больниц, без применения шумозащитных мероприятий или же с небольшими условиями, которые могут определяться для каждого объекта индивидуально.

Следует отметить, что приведенные в таблице мероприятия могут быть скорректированы, и объем их уменьшен, при учете характера застройки территории с учетом формул, разработанных в разделе 3.

Таблица 5.2.1 Варианты расположения застройки на территории, прилегающей к железной дороге и типовые шумозащитные мероприятия

Категория путей	Расстояние до объекта	Технические постройки, Паркинги, складские помещения	Бизнес-центры	Магазины	Кафе, рестораны	Спортивные объекты (кроме открытых площадок)	Гостиницы	Жилые дома	Образовательные объекты	Объекты культуры	Поликлиники (без стационаров)	Больницы и санатории	Площадки отдыха
Скоростная (80 дБА)	0 – 25	+	1 (не ниже Б)	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-
	25 – 50	+	1	+	1	1	1 + 2	1 + 2 + 3	1 + 2 + 3	1 + 2 + 3	1 + 2 + 3	-	-
	50 – 100	+	1	+	+	1	1 + 2	1 + 2	1 / 2	1 + 2	1 / 2	1 + 5 / 1 + 2 + 3	-
	100 – 200	+	+	+	+	+	1 / 2	1 + 2	2 / 4	1 + 2	2 / 4	1 + 2	-
	200 – 400	+	+	+	+	+	1 / 2	1 + 2	3	1 + 2	3	1 + 2	-
	>400	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2 + 3	+
Пассажирская (78 дБА)	0 – 25	+	1 (не ниже Б)	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-
	25 – 50	+	1	+	1	1	1 + 2	1 + 2 + 3	1 + 5 / 1 + 2 + 3	1 + 2 + 3	1 + 5 / 1 + 2 + 3	-	-
	50 – 100	+	1	+	+	1	1 + 2	1 + 2	1 / 2	1 + 2	1 / 2	1 + 5 / 1 + 2 + 3	-
	100 – 200	+	+	+	+	+	1 + 2	1 + 2	1 / 2	1 + 2	1 / 2	1 + 2	-
	200 – 400	+	+	+	+	+	1 / 2	1 + 2	2 / 4	1 + 2	2 / 4	1 + 2	-
	>400	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2 + 3	+
Особогрузонапряженная (77 дБА)	0 – 25	+	1	+	1	1	-	-	-	-	-	-	-
	25 – 50	+	1	+	1	1	1 + 2	1 + 2 + 3	1 + 5 / 1 + 2 + 3	1 + 2 + 3	1 + 5 / 1 + 2 + 3	-	-

Категория путей	Расстояние до объекта	Технические постройки, Паркинги, складские помещения	Бизнес-центры	Магазины	Кафе, рестораны	Спортивные объекты (кроме открытых площадок)	Гостиницы	Жилые дома	Образовательные объекты	Объекты культуры	Поликлиники (без станцианаров)	Больницы и санатории	Площадки отдыха
	50 – 100	+	+	+	+	1	1 + 2	1 + 2	1 / 2	1 + 2	1 / 2	1 + 5 / 1 + 2 + 3	-
	100 – 200	+	+	+	+	+	1 + 2	1 + 2	1 / 2	1 + 2	1 / 2	1 + 5 / 1 + 2	-
	200 – 400	+	+	+	+	+	1 / 2	1 + 2	2 / 4	1 + 2	2 / 4	1 + 2	-
	>400	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	+
I (73 дБА)	0 – 25	+	1	+	+	1	-	-	-	-	-	-	-
	25 – 50	+	1	+	+	1	1 + 2	1 + 2	1 + 2	1 + 2	1 + 2	1 + 2	-
	50 – 100	+	+	+	+	1	1 / 2	1 + 2	2 / 4	1 + 2	3	1 + 2	-
	100 – 200	+	+	+	+	+	1 / 4	1 / 2	+	1 / 2	+	2 + 3	2
	200 – 400	+	+	+	+	+	4	1 / 2	+	1 / 2	+	1 + 2	2
	>400	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	+
II (70 дБА)	0 – 25	+	1	+	+	1	-	-	-	-	-	-	-
	25 – 50	+	1	+	+	1	1 + 2	1 + 2	1 + 2	1 + 2	1 + 2	1 + 2	-
	50 – 100	+	+	+	+	1	1 / 2	1 + 2	2 / 4	1 + 2	2 / 4	1 + 2	-
	100 – 200	+	+	+	+	+	2 / 4	1 / 2	+	1 / 2	+	2 + 3	2
	200 – 400	+	+	+	+	+	3 / 4	1 / 2	+	1 / 2	+	1 + 2	2
	>400	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2	+
III (67 дБА)	0 – 25	+	1	+	+	1	-	-	-	-	-	-	-
	25 – 50	+	1	+	+	1	1 + 2	1 + 2	1 / 2	1 + 2	1 / 2	1 + 2	-
	50 – 100	+	+	+	+	1	1 / 2	1 / 2	3	1 / 2	4	2	2
	100 – 200	+	+	+	+	+	3 / 4	1 / 2	+	1 / 2	+	2	2
	200 – 400	+	+	+	+	+	+	1 / 4	+	1 / 4	+	2	4
	>400	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1 + 3 / 2	+
IV (64 дБА)	0 – 25	+	+	+	+	1	-	-	-	-	-	-	-

Категория путей	Расстояние до объекта	Технические постройки, Паркинги, складские помещения	Бизнес-центры	Магазины	Кафе, рестораны	Спортивные объекты (кроме открытых площадок)	Гостиницы	Жилые дома	Образовательные объекты	Объекты культуры	Поликлиники (без станцианаров)	Больницы и санатории	Площадки отдыха
	25 – 50	+	+	+	+	1	1 + 2	1 + 2	1 / 2	1 + 2	1 / 2	2 + 3	-
	50 – 100	+	+	+	+	1	2 / 4	1 / 2	+	1 / 2	+	2	2
	100 – 200	+	+	+	+	+	+	1 / 2	+	1 / 2	+	2	2
	200 – 400	+	+	+	+	+	+	1 / 4	+	1 / 4	+	1 + 3 / 2	4
	>400	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1 + 3	+

Примечание:

1. Шумозащитное остекление (класс звукоизоляции не ниже В)
2. Шумозащитные экраны
3. Шлифование рельсов
4. Шумозащитные зеленые насаждения
5. Расположение протяженных ненормируемых зданий

### **5.3. Апробация результатов исследования**

Апробация результатов исследования выполнена при помощи разработки карт шума территорий, прилегающих к железным дорогам (порядка 50 участков).

Примеры разработанных карт шума (Приложение 1):

- Карты шума участков железной дороги на территории Колпинского района г. Санкт-Петербурга (станции Понтонный, Петро-Славянка и Усть-Ижора);
- Карты шума участков Московских Центральных Диаметров (МЦД) (10 участков);
- Карты шума участка железной дороги Хабаровск I – Хабаровск II Дальневосточной железной дороги;
- Карты шума участка железной дороги в Нижнем Новгороде;
- Карты шума участков Московской железной дороги (15 участков);
- Карты шума участков Горьковской железной дороги (3 участка);
- Карты шума участков Красноярской железной дороги (7 участков);
- Карты шума участков Северо-Кавказской железной дороги (10 участков).

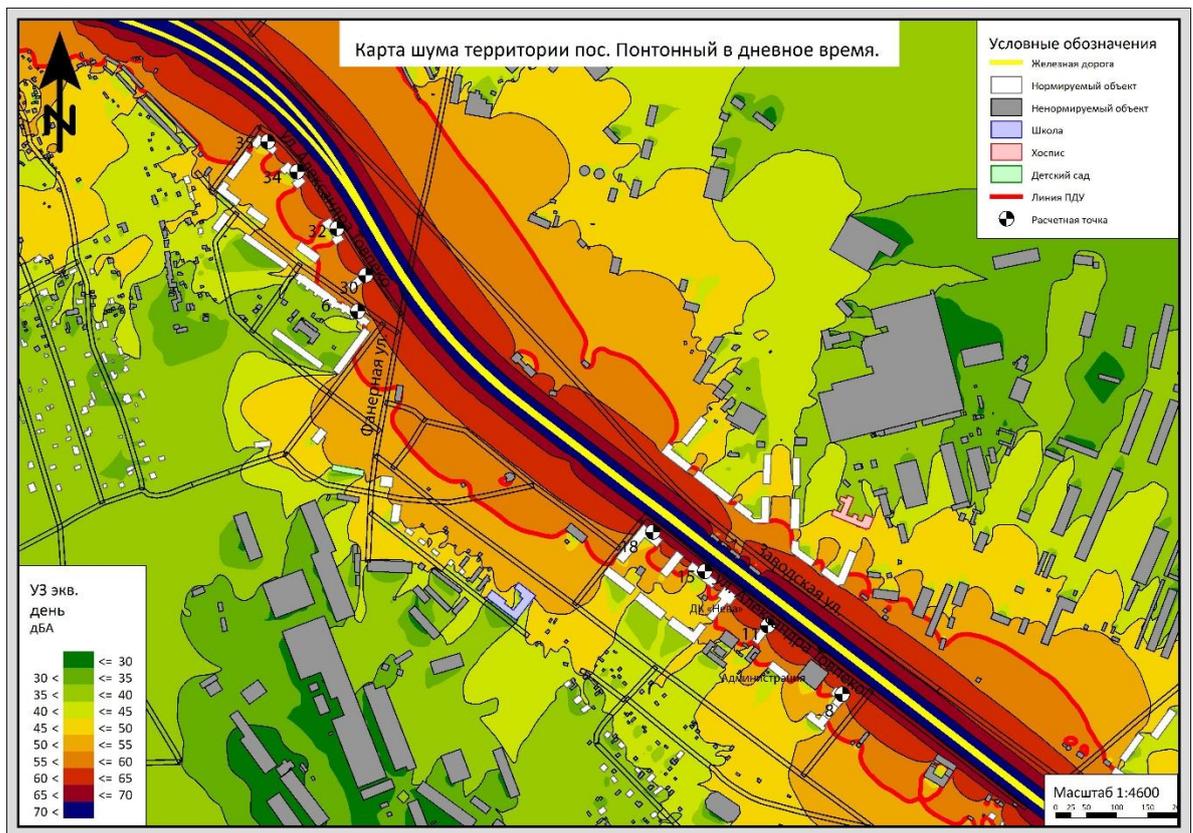
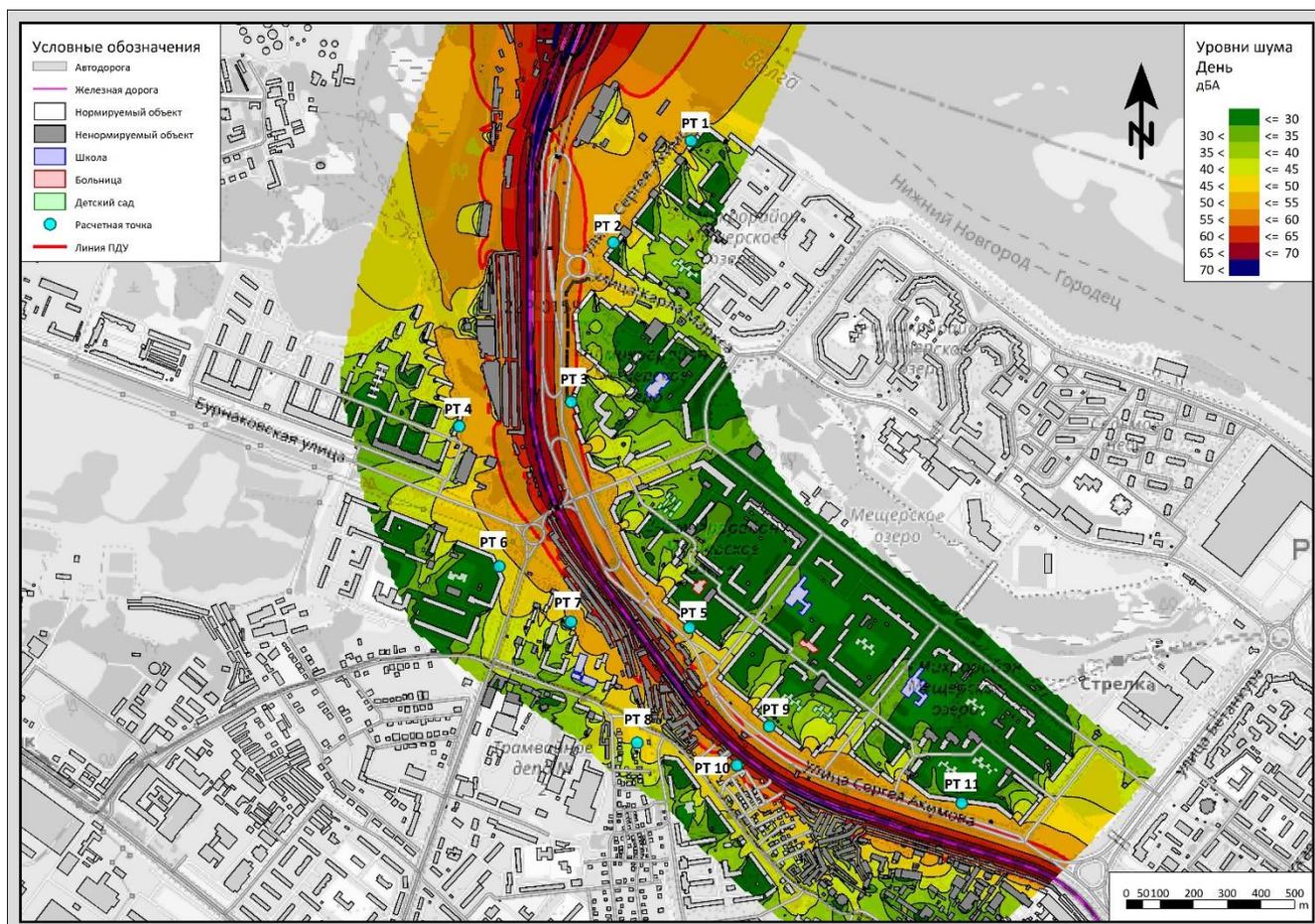


Рис. 5.3.1. Карта шума участка железной дороги на территории Колпинского района г. Санкт-Петербурга (ст. Понтонный)



Рис. 5.3.2. Карта шума участка железной дороги Хабаровск I – Хабаровск II Дальневосточной железной дороги



*Рис. 5.3.3. Карта шума участка железной дороги в Нижнем Новгороде*

С помощью карт шума были разработаны шумозащитные мероприятия, позволяющие обеспечить нормативные уровни шума на территории, прилегающей к железной дороге и в нормируемых объектах.

Результатом исследования стала разработка «Методических указаний по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов железнодорожного транспорта» для ОАО «РЖД» [140].

Предлагаемые в работе подходы к разработке шумозащитных мероприятий были использованы АО «Дальгипротранс при разработке раздела «Мероприятия по охране окружающей среды» проектной документации по объекту «Третий путь на перегоне Хабаровск I – Хабаровск II Дальневосточной железной дороги». Результаты исследования также используются ООО «Институт Виброакустических Систем» при разработке проектов по оценке шума железнодорожного транспорта

и разработке шумозащитных мероприятий. Акты внедрения приведены в Приложении 4.

### ***Выводы по главе***

1. Разработаны методические указания по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов железнодорожного транспорта;
2. Разработаны шумозащитные мероприятия для участков железных дорог, которые включают рекомендуемые мероприятия в зависимости от категории железнодорожной дороги;
3. Разработаны рекомендации по строительству новых объектов вблизи железных дорог с указанием необходимых комплексов шумозащитных мероприятий в зависимости от назначения строящегося объекта, расстояния от железной дороги и категории железнодорожной линии;
4. Результаты апробации включают в себя разработанные карты шума железных дорог и «Методические указания по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов железнодорожного транспорта» для ОАО «РЖД».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н.И. Иванов. – Москва: Логос, 2010. – 424 с.
2. Безопасность технологических процессов и производств: учебник / под редакцией Н. И. Иванова, И. М. Фадиной и Л. Ф. Дроздовой. — Москва: Логос, 2020. – 612 с.
3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – 364 с.
4. Курепин Д.Е. Анализ уровней сверхнормативного шумового воздействия от железнодорожного транспорта // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2015. №1 (42). – С. 34-40.
5. Васильев А.П. Оценка шума железнодорожного транспорта как фактора риска здоровью населения / А.П. Васильев, А.В. Шабарова, М.В. Буторина, Д.А. Куклин // Молодежь. Техника. Космос: труды X Общероссийской молодежной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 18–20 апреля 2018 года. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2018. – С. 319-324.
6. EU Directive: Directive 2002/49/EC of the European parliament and the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise/ Official Journal of the European Communities, L 189/12, July 2002.
7. Данные о воздействии шума в соответствии с Директивой 2002/49/EC Reported data on noise exposure covered by Directive 2002/49/EC: сайт. – 2020. – URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-on-noise-exposure-2> (дата обращения 05.10.2024).
8. Noise in Europe 2014 / EEA Report No 10, 2014. – 68 p.

9. Hudecek L. Reducing the negative effects of city railways on houses in Ostrava / L. Hudecek [et al.] // *Advanced materials research*. – 2014. – Vol. 1041. – P. 432-435.
10. Putrik P. Living environment matters: relationships between neighborhood characteristics and health of the residents in a Dutch Municipality / P. Putrik [et al.] // *Journal of community health*. – 2015. – Vol. 40. – Iss. 1. – P. 47-56.
11. Иванов Н.И. Проблема шума железнодорожного транспорта и пути ее решения / Н. И. Иванов, Д.А. Куклин // *Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сборник докладов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 22–24 марта 2011 года / Под редакцией Н.И. Иванова*. – Санкт-Петербург: ИННОВА, 2011. – С. 108-123.
12. Алексеев В.Б. Транспортный шум как фактор риска здоровью населения и установления ограничений использования земельных участков городских и сельских поселений / В.Б. Алексеев, И.В. Май, С.В. Клейн, Д.Н. Кошурников // *Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО*. – 2022. – Т. 30, № 10. – С. 25-32.
13. Буторина М.В. Концепция и разработка карт шума городов и населенных пунктов / М В. Буторина // *Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 17–19 марта 2009 года / под редакцией Иванова Н.И.* – Санкт-Петербург: ИННОВА, 2014. – С. 117-140.
14. Буторина М.В. Контроль шума с помощью новейшей сертифицированной программы для расчета шума SoundPLAN / М.В. Буторина, А. Берндт, Й. Шаль // *Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 21–22 марта 2006 года / Под редакцией Н.И. Иванова, К.Б. Фридмана*. – Санкт-Петербург: ИННОВА, 2015. – С. 66-76.
15. Липилин, Д.А. Оценка качества городской среды с применением геоинформационных систем на примере Московского микрорайона города

Краснодара / Д.А. Липилин, Д.Д. Евтушенко // Региональные геосистемы. – 2022. – Т. 46, № 2. – С. 223-240.

16. 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 Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. под редакцией Н.И. Иванова. 2015. С. 104-112.

17. Borillas J.M. Uncertainty evaluation of continuous noise sampling / J.M. Borillas, C.P. Gajardo // Applied Acoustics, 75, 27-36, (2014).

18. Иванькина Н.А. Концепция Нового урбанизма: предпосылки развития и основные положения / Н.А. Иванькина, М.В. Перькова // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2018. №8. С. 75-84.

19. Кочеткова Т. В. Комфортность городской среды / Т.В. Кочеткова, Н.В. Алейникова // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2019. №11. Р. 66-72.

20. Иванов Н.И. Проблема защиты от шума / Н.И. Иванов, М.В. Буторина, Н.Н. Минина // Вестник МГСУ. 2011. №3-1 С. 135-145.

21. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Официальный интернет-портал правовой информации [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 03.02.2021, N 0001202102030022.

22. Gautier P-E. Designing high-speed railway systems: noise challenges / P-E. Gautier and L. Guccia // Proceedings of Inter-noise 96. – Liverpool, 1996. – P. 289-293.

23. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Официальный интернет-портал правовой информации [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 05.02.2021, N 0001202102050027.

24. Буторина М.В. Особенности нормирования шума транспорта в Российской Федерации / М.В. Буторина, Д.А. Куклин, А.В. Шабарова, А.П. Васильев // Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 23–25 марта 2021 года / Под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Институт акустических конструкций, 2021. – С. 60-67.
25. Курепин Д.Е. Анализ уровней сверхнормативного шумового воздействия от железнодорожного транспорта / Д.Е. Курепин // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2015. №1 (42). С. 34-40.
26. Rail Infrastructure Noise Guideline, Environment Protection Authority, Australia, May, 2013.
27. ГОСТ Р ИСО 1996-1-2019 Акустика. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 1. Основные величины и процедуры оценки. Официальное издание М.: Стандартинформ, 2019 год.
28. ГОСТ Р 53187-2008 Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий. Официальное издание М.: Стандартинформ, 2009 год.
29. ГОСТ 23337-2014 Шум. Методы измерения шума на территориях жилой застройки и в помещениях жилых и общественных зданий (с Поправками, с Изменением N 1). Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год
30. Dittrich M.G. IMAGINE railway noise source model, default source data and measurement protocol. Deliverable of IMAGINE project, Work Package 6. – 55 p.
31. Хехт М. Исследования шума качения колёс / М. Хехт, М. Веймерс // Железные дороги мира. – 2001. – №2.
32. Hartung C.F. Railway rolling noise emission from wheel and track-simulations and full-scale test rig measurements / C.F. Hartung, A. Frid, J. C O Nielsen // 10th International Congress on Sound and Vibration (Stockholm, Sweden July 2003). – Stockholm, 2003. – P. 1673-1680.
33. Thompson D. But are the train getting any quieter? / D. Thompson // 14th International Congress on Sound and Vibration (Cairns, Australia 9-12 July 2007). – Cairns, 2007. – P. 1-20.

34. Гирнау Г. Проблемы борьбы с шумом на железных дорогах / Г. Гирнау // Железные дороги мира. – 1979. – №1. – С. 43-48.
35. Куклин Д.А. Расчёт внешнего шум поездов / Д.А. Куклин, П.В. Матвеев // Noise Theory and Practice. 2015. №2 (2). С. 41-51
36. Буторина, М. В. Разработка научных и методических основ картирования шума транспорта на территории городской застройки: специальность 01.04.06 «Акустика»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Буторина Марина Вадимовна, 2021. – 431 с.
37. Куклин Д. А. Проблема снижения внешнего шума поездов в источнике и на пути распространения: специальность 01.04.06 «Акустика»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Куклин Денис Александрович. – Санкт-Петербург, 2016. – 22 с.
38. Бойко Ю. С. Расчет и снижение шума высокоскоростных поездов на селитебной территории: специальность 01.04.06 «Акустика»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бойко Юлия Сергеевна, 2017. – 210 с.
39. Куклин Д.А. Оценка и снижение шума железнодорожного транспорта / Д.А. Куклин // XXVII сессия Российского акустического общества, посвященная памяти ученых-акустиков ФГУП «Крыловский государственный научный центр» А. В. Смольякова и В. И. Попкова Санкт-Петербург, 16-18 апреля 2014 г.
40. Бойко Ю.С. Исследование процессов шумообразования при движении высокоскоростных поездов / Ю.С. Бойко, А.Е. Шашурин, Cardona Joan, Albaladejo Marc // Noise Theory and Practice. 2015. №2 (2). С. 88-89.
41. Снижение шума в кривых. «Железные дороги мира» – 2009, № 6 с. 70-76.
42. DIN 18005-1 DIN 18005 Schiene:1987 Schallschutz im Städtebau Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung.
43. Harmonoise WP 3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning: Technical Report HAR32TR-040922-DGMR20.

44. Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management Of Environmental Noise. Final technical report. Deliverable 4 of the HARMONOISE project HAR7TR041213AEAT03.
45. Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 8 августа 2024 года) (редакция, действующая с 1 сентября 2024 года) – сайт. – 2024. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51040/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/) (дата обращения 05.10.2024).
46. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\* (с Изменениями N 1, 2, 3, 4) Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2017 год.
47. Дроздова Л.Ф. Оценка снижения уровней шума зданиями различной формы / Л.Ф. Дроздова, М.В. Буторина, Д.А. Куклин // Noise Theory and Practice. 2020. №4 (22) С. 95-102.
48. Крашенинников И.А. Плотность и пористость городской ткани как характеристики застройки / И.А. Крашенинников // Теория и история архитектуры. – 2021. – № 4. – С. 44-64.
49. Калабин А.В. Виды жилой застройки: современное состояние / А.В. Калабин // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2017. №4 (35) С. 50-58.
50. Лымарь В.В. Применение параметрических методов для картирования морфологии городской застройки на примере василеостровского района Санкт-Петербурга / В.В. Лымарь, А.С. Карпов, О.А. Краснова // Урбанистика. 2021. №1. С. 34-55.
51. Федоров А.Н. Современный взгляд на сельскую жилую усадьбу / А.Н. Федоров, А.А. Варанкина, Е.А. Сенникова // Системные технологии. – 2021. – № 3(40). – С. 116-125.
52. Багратян М. Г. Сравнение коттеджных поселков с кластерным и бульварным типом проектирования общественных пространств / М. Г. Багратян, В. М. Флоренский // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 5(101). – С. 420-426.

53. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2006 год.
54. СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков (с Изменениями N 1, 2) Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2017 год.
55. ГОСТ 33325-2015 Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом (с Поправкой, с Изменением N 1) Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.
56. ISO 9613-2:1996 Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation Сайт. – URL: <https://clck.ru/3Dj6Ya> (дата обращения 05.10.2024).
57. Буторина М.В. Учет погрешностей при построении карт шума / М.В. Буторина, А.В. Осетров, В.В. Светлов, К.П. Фиев // Noise Theory and Practice. - 2020. - Т. 6. - № 4(22). - С. 81-89.
58. Берндт А. Неопределенности в моделировании шума окружающей среды. Proceedings of ACOUSTICS, Голд-кост, Австралия, 3-5 ноябрь, 2004, С. 443-446.
59. ГОСТ 23337-2014 Шум. Методы измерения шума на территориях жилой застройки и в помещениях жилых и общественных зданий (с Поправками, с Изменением N 1) Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.
60. ГОСТ 20444-2014 Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики (с Поправкой, с Изменением N 1) Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.
61. Елькин А.Б. Определение границ санитарно-защитной зоны по шумовому фактору / А.Б. Елькин, Н.С. Конюхова // Безопас. жизнедеят-сти. – 2008. – № 2. – с. 27-31 – Библиограф.: 8.
62. Трофимов Н.А. Определение ширины санитарно-защитной зоны по шумовому воздействию / Н.А. Трофимов // Проблемы обеспечения безопасности в промышленности, строительстве и на транспорте: Материалы

Международной научно-технической конференции, Пермь, 20-21 окт., 2010. – Пермь, 2010 – с. 126-131, 190. – Библиограф.: 6.

63. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов /Роспотребнадзор, Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов-М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008 год.

64. Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда Постановление Госстроя России от 27.09.2003 N 170 Зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 15.10.2003 N 5176 Вестник управления ценообразования и сметного нормирования, N 3, М., 2004 год.

65. Борцова С.С. Расчет акустической эффективности выемки / С.С. Борцова, М.В. Буторина, Н. И. Иванов // Noise Theory and Practice. – 2023. – Т. 9, № 4(35). – С. 59-66.

66. СП 119.13330.2024 Железные дороги колеи 1520 мм. СНиП 32-01-95 Официальное издание. М.: ФГБУ «РСТ», 2024.

67. ГОСТ Р 56394-2015 Шум. Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта. Общие требования и методы составления Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.

68. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменениями N 1-4) официальное издание Минрегион России. - М.: ОАО «ЦПП», 2010 год.

69. Попов А.В. Архитектурно-градостроительная трансформация полосы отвода железной дороги и прилегающей санитарно-защитной зоны / А.В. Попов, А.А. Никитина // Экология урбанизированных территорий. 2022. №4. С. 78-84.

70. Юдин Е.Я. Защита от шума прилегающей застройки / Е.Я. Юдин, И.Д. Котова // Железнодорожный транспорт. – 1987. – №12.

71. Schallschutzanordnung; Calenberg Ingenieure planmassig elastisch lagern GmbH = Барьер для защиты от акустического излучения: Заявка / Peter Wisniewski, Muller Herbert. – 06017030.5 ; ЕПВ ; 20.02.2008.

72. Поспелов П.И. Проблемы акустического обоснования при проектировании шумозащитных экранов / П.И. Поспелов // Наука и техника в доп. отрасли. – 2001. – № 4. – С. 12-14.
73. Маекава З. Акустические экраны: в кн. «Снижение шума в зданиях и жилых районах» / под ред. Г.Л. Осипова и Е.Я. Юдина. – Москва: Стройиздат, 1987. – с. 426-447.
74. Шубин И.Л. Акустический расчет и проектирование конструкций шумозащитных экранов: специальность 01.04.06 диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: / Шубин Игорь Любимович. – Москва, 2011. – 318 с.
75. Борцова С.С. Оптимизация комплекса мероприятий для защиты от железнодорожного шума / С.С. Борцова, Л.Э. Забалканская // Noise Theory and Practice. 2023. №3 (34). – С. 18-32
76. Шашурин А. Е. Определение эффективной высоты и акустических характеристик шумозащитного экрана / А. Е. Шашурин // Noise Theory and Practice. – 2018. – Т. 4, № 2(12). – С. 5-10.
77. ГОСТ 33328-2015 Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля (с Поправкой). Официальное издание. М.: Стандартиформ, 2019 год
78. ГОСТ 33329-2015 Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования. Официальное издание. М.: Стандартиформ, 2019 год.
79. Куклин Д.А. Расчет эффективности малых экранов для железных дорог / Д.А. Куклин, П.В. Матвеев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 2(26). – С. 18-20.
80. Васильев А. Эффективность малых акустических экранов для защиты от шума железнодорожного транспорта / А. Васильев, Ю. Ли-Ко-шин, А. В. Кудаев [и др.] // Noise Theory and Practice. – 2016. – Т. 2, № 3(5). – С. 45-49.

81. Куклин Д.А. Расчётные схемы определения шума от железнодорожного транспорта / Д.А. Куклин, П.В. Матвеев // Noise Theory and Practice. 2016. №1 (3) – С. 24-33.
82. Борцова, С.С. Комплексное решение проблемы снижения шума железнодорожного транспорта / С.С. Борцова // Noise Theory and Practice. – 2021. – Т. 7, № 5(27). – С. 33-47.
83. Борцова С.С. Расчет акустической эффективности насыпи / С.С. Борцова, М.В. Буторина, Н. И. Иванов // Noise Theory and Practice. – 2023. – Т. 9, № 4(35). – С. 51-58.
84. Мусаткина, Б.В. Оценка шума железнодорожного подвижного состава на территории жилой застройки / Б.В. Мусаткина, А.А. Кообар // Известия Транссиба. – 2022. – № 4(52). – С. 123-132.
85. Ревич Б.А. Планирование городских территорий и здоровье населения: аналитический обзор / Б.А. Ревич // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 1. – С. 157-169.
86. Бечина Д. Н. Древесно-кустарниковая растительность в городских условиях и ее влияние на снижение шума от автотранспорта (на примере города Саратова): Автореф. дис. канд. техн. наук / Бечина Д. Н. – Саратов, 2006. – 17 с.: ил. – Библиограф.: 7.
87. Панюшкин Н. Н. Математическое моделирование процесса поглощения звуковой волны зелеными насаждениями / Н. Н. Панюшкин, П. И. Попиков, А. Н. Панюшкин, В. П. Попиков // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. н. – 2006. – с. 79-81, 112. – Библиограф.: 4.
88. Балычев В. Д. Экологическое обоснование проектирования шумогасящих насаждений / В. Д. Балычев // Оптимизация агроландшафтов, проблемы и перспективы развития агролесомелиорации и защитного лесоразведения: Материалы Научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых / Волгоград, 30 нояб.-2 дек., 2004. – Волгоград, 2004. – с. 54-58. – Библиограф.: 5.

89. Соловьева О. С. Шумопоглолительная способность зеленых насаждений г. Йошкар-Олы / О. С. Соловьева // Ландшафтная архитектура: вчера, сегодня, завтра: Материалы Всероссийского методического семинара / Йошкар-Ола, 17-18 февр., 2005. – Йошкар-Ола, 2007. – С. 112-117.
90. Овсянников С. Н. Шумозащитные окна с воздухообменными клапанами / С. Н. Овсянников, А. С. Самохвалов, В. П. Мельник, М. С. Овсянников // Строительная физика в XXI веке: Материалы Научно-технической конференции / Москва. – Москва, 2006. – С. 278-281.
91. Колмаков, А. В. Снижение уровня городского шума средствами архитектуры / А. В. Колмаков // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2017. – № 1(32). – С. 51-56.
92. Борискина И. В. Современные шумозащитные оконные конструкции и системы проветривания помещений, подвергающихся воздействию интенсивной шумовой нагрузки / И. В. Борискина // Строит. матер., оборуд., технол. XXI в. – 2007. – № 4 – С. 56.
93. Овсянников С.Н. Шумозащитные мероприятия для зданий на примагистральных территориях городов / С.Н. Овсянников, А.С. Самохвалов, В.П. Мельник, М.С. Овсянников // Вестник ТГАСУ. 2007. №1. – С. 64-74.
94. Иванов Н.И. Снижение шума подвижного состава железнодорожного транспорта в источнике образования и на пути распространения / Н.И. Иванов, Д.А. Куклин, П.В. Матвеев, А.Ю. Олейников // Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 18–20 марта 2015 года / под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Айсинг», 2015. – С. 125-144.
95. «Методические указания по применению комплекса средств шумозащиты и технических требований к шумозащитным накладкам на шейку рельса», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Спб, 2015.

96. Технические указания по шлифованию рельсов утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 22.02.2011 №388р в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 25.05.2022 №1399/р.
97. Куклин Д.А. Повышение качества поверхности рельса для снижения шума качения / Д.А. Куклин, А.В. Кудаев, П.В. Матвеев, А.Ю. Олейников / V Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации» (Санкт-Петербург 18-20 марта 2015): сб. трудов. – Спб., 2015. – С. 638-644.
98. Дево А. (Devaux) Ослабление вибраций и шумов, воздействующих на различные сооружения при проходе подвижного состава / А. Дево // Железные дороги мира. – 1971. – №2.
99. Инновационные методы снижения уровня шума Железные дороги мира — 2011, № 10
100. Eberhard Hohnecker Funktionsintegrierte Lärmreduktion & mehr / Eberhard Hohnecker // EI – DER EISENBAHNINGENIEUR Ausgabe 10/2010
101. Томпсон Д. Малошумный путь / Д. Томпсон, С. Джонс // Железные дороги мира. – 2002. – №9. – С. 1-9.
102. Климпель Т. Шум качения и методы борьбы с ним / Т. Климпель // Железные дороги мира. – 2003. – №12.
103. Паукерт Х. Применение малошумных тормозных накладок из композита и металлокерамики / Х. Паукерт // Железные дороги мира. – 2008. – №9. – С. 67-69.
104. Thompson D.J. Recent developments in railway noise reduction technology / D.J. Thompson and C.J.C. Jones // 6th International Congress on Sound and Vibration (Copenhagen, Denmark July 1999). – Copenhagen, 1999. – P. 2613-2628.
105. Croft B. B. Hemsworth State of the Art Review of Rail Noise Policy / B. Croft, B. Hemsworth 2018.
106. Huth Psychoacoustic approach for noise optimized rail grinding / Huth, Christine et al. 2019.

107. Шлифование рельсов как мероприятие по предотвращению и устранению шума // Железные дороги мира. – 2005. – №12. – С. 74-77.
108. Звукоизолирующий экран на шейке рельса // Железные дороги мира. – 2011. – №3. – С. 75-77.
109. Liu Noise and Vibration Mitigation Performance of Damping Pad under CRTS-III Ballastless Track in High Speed Rail Viaduct. / Liu, Linya et al. // Ksce Journal of Civil Engineering 23 (2019): 3525-3534.
110. Dumitriu M. On the Rolling Noise Reduction by Using the Rail Damper / Dumitriu M., Cruceanu I. C. // Journal of Engineering Science and Technology Review 10 (2017): P. 87-95.
111. Kaewunruen S. Systems Thinking Approach for Rail Freight Noise Mitigation / S. Kaewunruen // Acoustics Australia 44 (2016): P. 193-194.
112. ACOUTRAIN: виртуальная сертификация акустических характеристик грузовых и пассажирских поездов Сайт. – 2016 – URL: [https://www.researchgate.net/publication/304488120\\_ACOUTRAIN\\_Virtual\\_Certification\\_of\\_Acoustic\\_Performance\\_for\\_Freight\\_and\\_Passenger\\_Trains](https://www.researchgate.net/publication/304488120_ACOUTRAIN_Virtual_Certification_of_Acoustic_Performance_for_Freight_and_Passenger_Trains) (дата обращения 05.10.2024).
113. Регионы Франции заказали первые поезда на водороде для запуска на линии в 2025 году Сайт. – 2021 – URL: <https://www.rfi.fr/ru/франция/20210411-франция-alstom-первые-поезда-на-водороде-2025-год> (дата обращения 05.10.2024).
114. В ФРГ запустили первые в мире пассажирские поезда на водородном топливе 24 августа 2021 Сайт. – 2022 – URL: <https://tass.ru/ekonomika/15556017> (дата обращения 05.10.2024).
115. Commission Regulation (EU) No 1304/2014 of 26 November 2014 on the technical specification for interoperability relating to the subsystem «rolling stock — noise» amending Decision 2008/232/EC and repealing Decision 2011/229/EU Text with EEA relevance.

116. ГОСТ Р 53188.1-2019 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Шумомеры. Часть 1. Технические требования. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.
117. ГОСТ 17187-2010 (IEC 61672-1:2002) Шумомеры. Часть 1. Технические требования. Официальное издание М.: Стандартинформ, 2012 год.
118. ГОСТ 17168-82 (СТ СЭВ 1807-79) Фильтры электронные октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний. Официальное издание М.: Издательство стандартов, 1982 год.
119. ГОСТ Р 58973-2020 Оценка соответствия. Правила к оформлению протоколов испытаний. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2020.
120. Maekawa Z. Environmental and Architectural Acoustics / Z. Maekawa, J. H. Rindel, P. Lord / Spon Press. - Second edition. – 2011. – 371 p.
121. Kuttruff H. Acoustics: An Introduction / H. Kuttruff – Taylor & Francis, 2007.
122. Тюрина Н.В. Решение проблемы снижения шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами: специальность 01.04.06 диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: / Тюрина Наталья Васильевна. – Санкт-Петербург, 2014. – 330 с.
123. Минина Н.Н. Проблема снижения акустического воздействия на жилую застройку при проектировании, строительстве и функционировании транспортных сооружений: специальность 01.04.06 диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: / Минина Наталия Николаевна. – Санкт-Петербург, 2012. – 286 с.
124. Шашурин А.Е. Научное обоснование и применение новых технических и технологических решений для снижения акустического загрязнения основными типами шумозащитных экранов: специальность 01.04.06 диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: / Шашурин Александр Евгеньевич. – Санкт-Петербург, 2018. – 336 с.
125. Thompson D.J. A review of the modelling of wheel/rail noise generation / D.J. Thompson, C.J.C. Jones // Journal sound and vibration. – USA, 2000. – Vol. 231(3). – P. 519-536.

126. Попова И.В. Вычисление параметров шероховатости и оценка аэрационного потенциала городских территорий / И.В. Попова, Е.В. Любимова, С.А. Куролап // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура 2018 № 1(4) С. 79-87.
127. Сумеркин Ю.А. Моделирование тепловой нагрузки на территории городского двора в условиях плотной застройки: специальность 2.1.10 диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: / Сумеркин Юрий Алексеевич – Москва, 2023. 120 с.
128. Млявая Г.В. Влияние параметров шероховатости подстилающей поверхности на скорость ветра / Г.В. Млявая // Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii, 2014, №2 (323). – Р. 181-187.
129. Агамиров Л.В. Исследование распределения коэффициента вариации в задачах статистического анализа испытаний / Л.В. Агамиров, В.Л. Агамиров, В.А. Вестяк // Программные продукты и системы. 2018. №1. – Р. 166-171.
130. Шабарова А.В. Снижение шума железнодорожного транспорта в различных типах жилой застройки / А.В. Шабарова, М.В. Буторина // Акустика среды обитания: IX всероссийская конференция молодых ученых и специалистов, Москва, 23-24 мая 2024 года. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2024. – С. 408-414.
131. СП 23-104-2004 Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена. официальное издание М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004 год.
132. Голубничий А.А., Шимкив А.В., Сайфуллин В.Р. Эволюция базовой статистической модели расчета транспортного шума // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 1. Ч. 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/01/43485> (дата обращения: 14.10.2024).
133. Bolt R.H. Handbook of acoustic noise control / R.H. Bolt, L.L. Beranek, R.V. Newman // Wright Air Development Center technical report 1952, 52-204.
134. 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.

135. Butorina M. Classification of railway lines by noise emission for noise protection design / M. Butorina, A. Olejnikov, D. Kuklin // *Akustika*. – Vol. 32. – March 2019. – P. 228-234.
136. Распоряжение ОАО «РЖД» Об утверждении Методики классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД» РЖД-Партнер-ДОКУМЕНТЫ, N 5-6, 2020 год.
137. Воронова А.А. Выбор мероприятий для защиты от железнодорожного шума в городской и сельской застройке / А.А Воронова., А.В. Шабарова, М.В. Буторина // Защита от повышенного шума и вибрации: сборник трудов конференции IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 26–28 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 272-279.
138. ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам». Отраслевой дорожный методический документ от 13.12.2012 N 218.2.013-2011.
139. Васильева А.В. Зависимость снижения шума железнодорожного транспорта в городской застройке от ее параметров / А.В. Васильева // *Noise Theory and Practice*. – 2024. – Т. 10, № 3(10). – С. 60-68.
140. Методические указания по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов железнодорожного транспорта (утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 12.10.2022 N 2638/р).

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

## КАРТЫ ШУМА УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

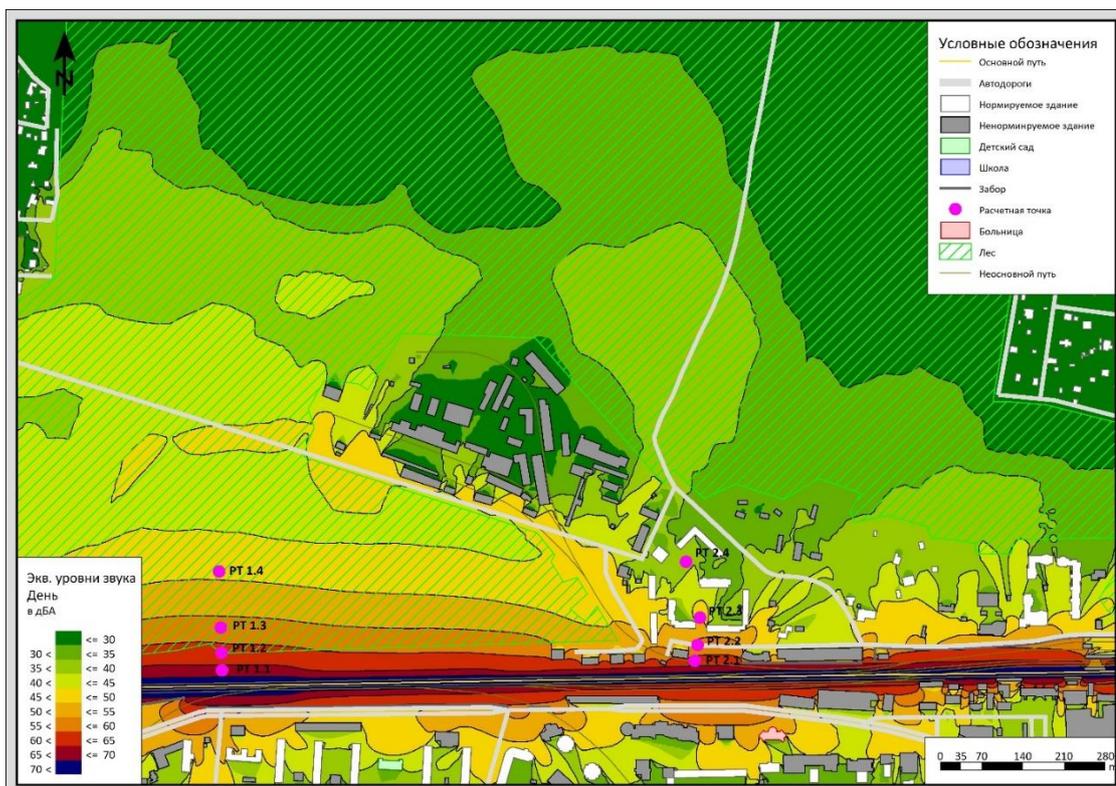


Рис. П1.1 – Карта шума эквивалентных уровней звука в дневное время для участка в пос. Железнодорожный

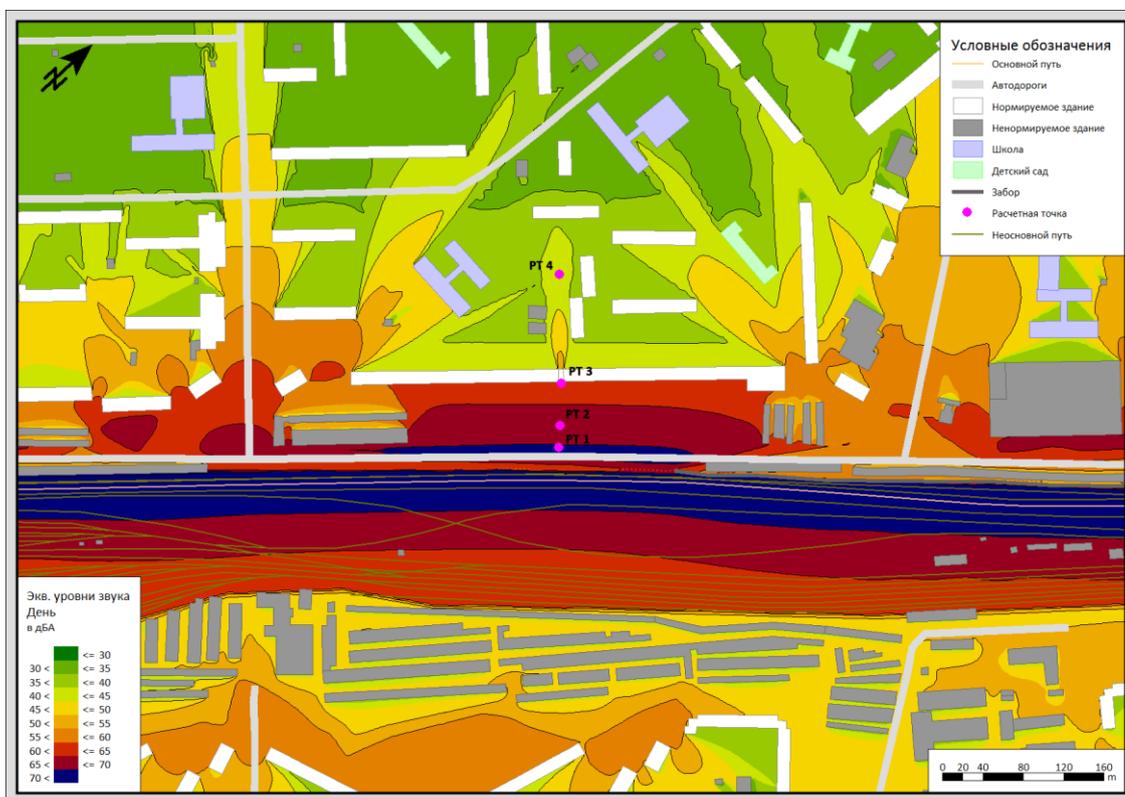


Рис. П1.2 – Карта шума эквивалентных уровней звука в дневное время для участка вблизи ст. Лошиноостровская

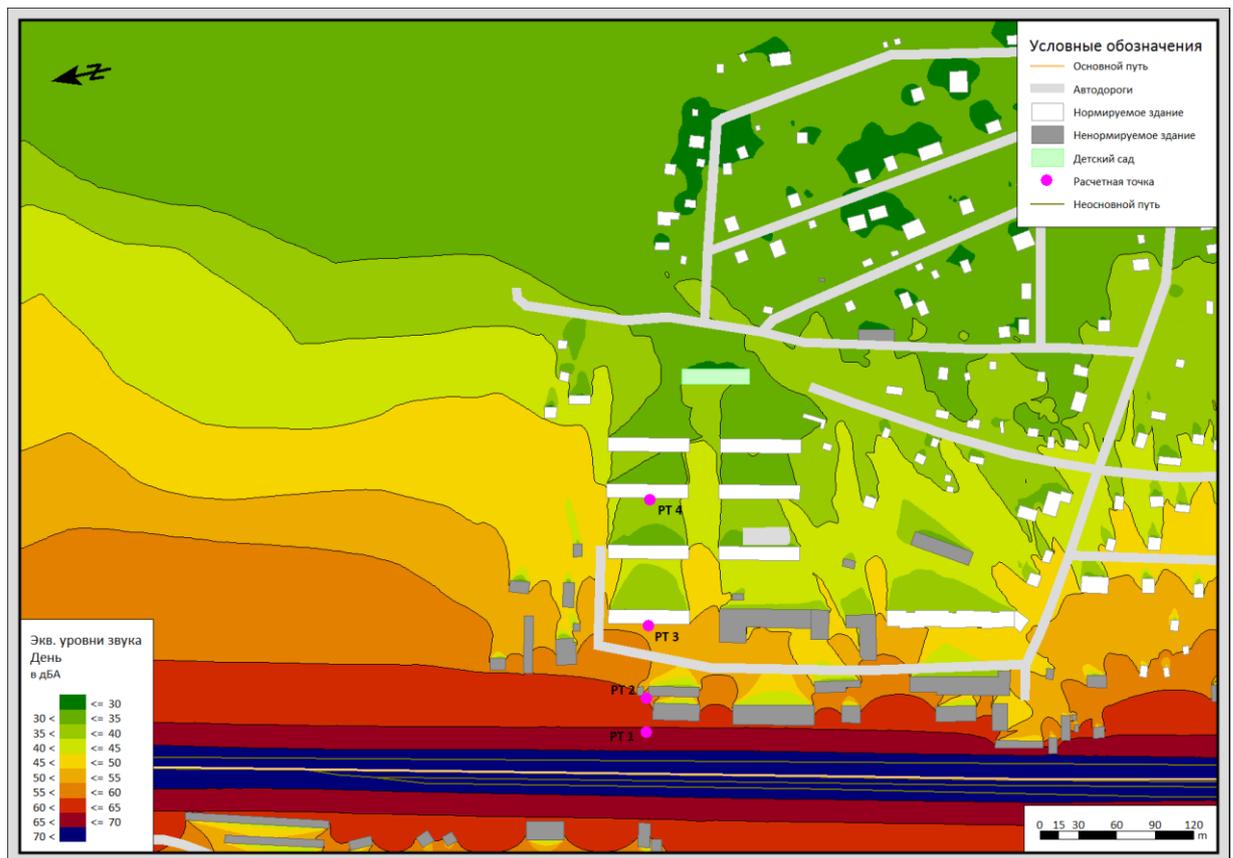


Рис. П1.3 – Карта шума эквивалентных уровней звука в дневное время для участка вблизи ст. Столбовая



Рис. П1.4 – Карта шума эквивалентных уровней звука в дневное время на участке вблизи ст. Путепровод

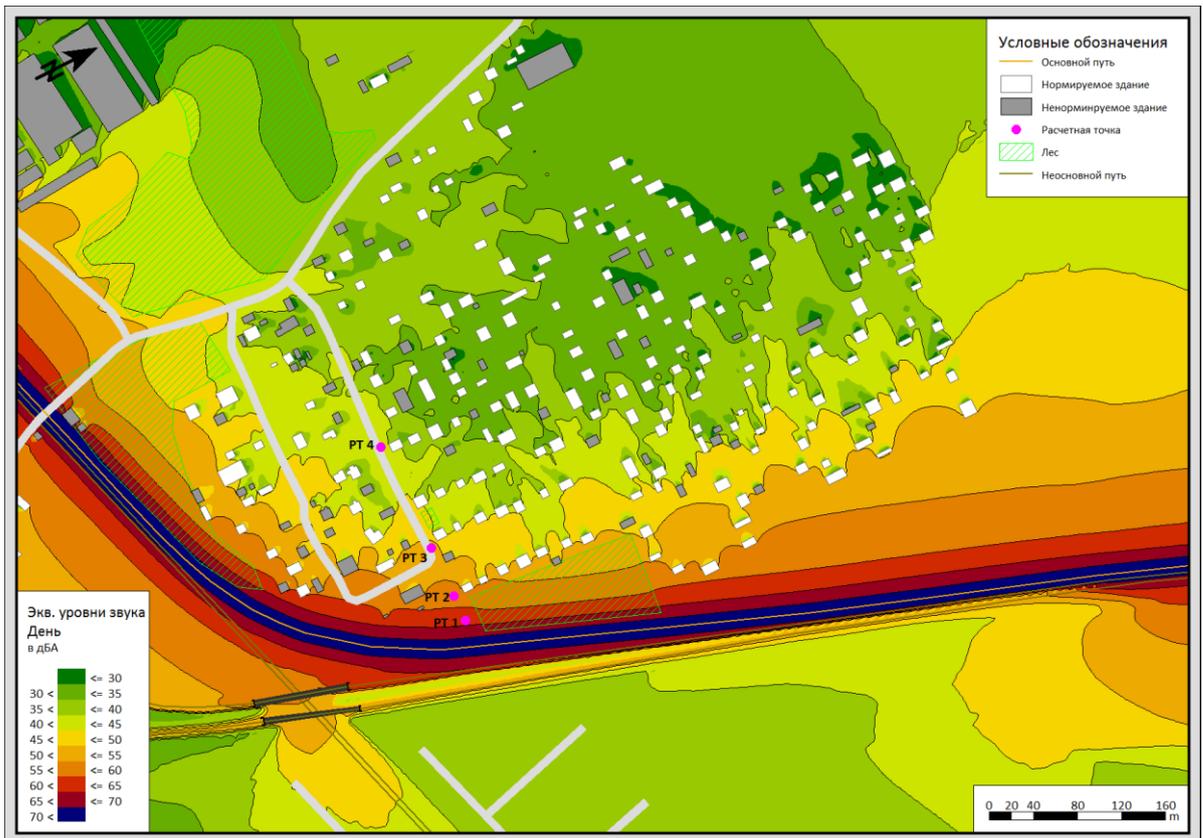


Рис. П1.5 – Карта шума эквивалентных уровней звука в дневное время для участка в СНТ Авиатор

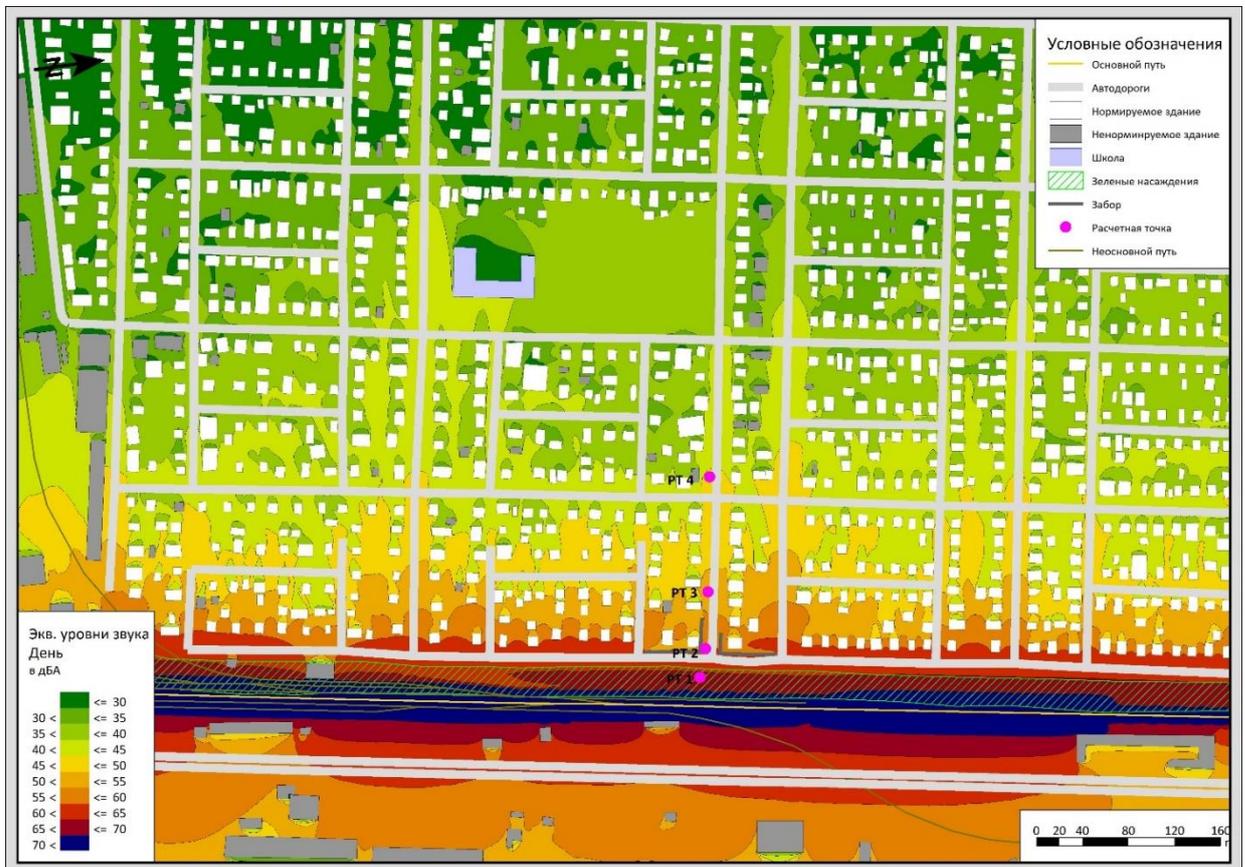


Рис. П1.6 – Карта шума эквивалентных уровней звука в дневное время для участка в районе ст. ЗИП

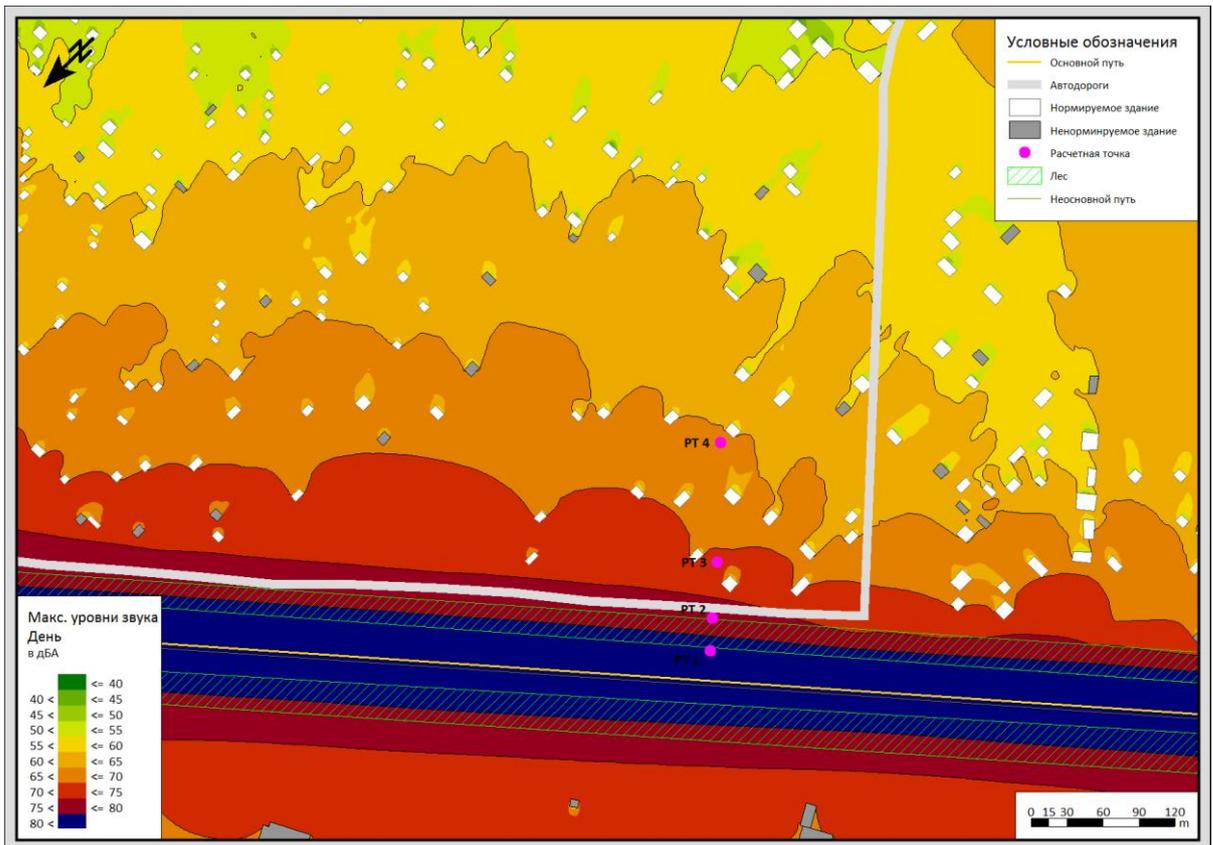


Рис. П1.7 – Карта шума максимальных уровней звука в дневное время для участка в СНТ Клязьма

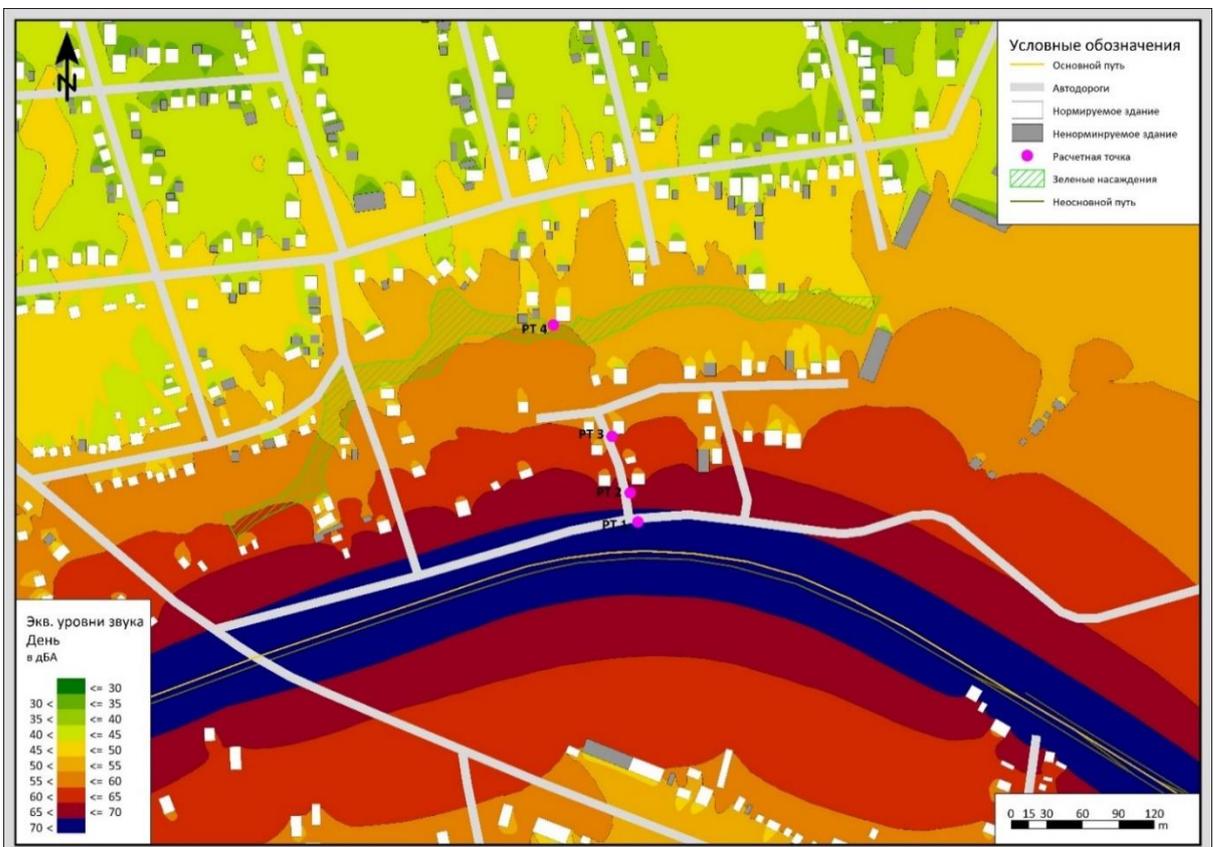


Рис. П1.8 – Карта шума эквивалентных уровней звука в дневное время для участка в районе ст. Варениковская



**Цветовая схема**

0 и ниже дБА	(5 - 10] дБА	(10 - 15] дБА	(15 - 20] дБА
(20 - 25] дБА	(25 - 30] дБА	(30 - 35] дБА	(35 - 40] дБА
(40 - 45] дБА	(45 - 50] дБА	(50 - 55] дБА	(55 - 60] дБА
(60 - 65] дБА	(65 - 70] дБА	(70 - 75] дБА	(75 - 80] дБА
(80 - 85] дБА	(85 - 90] дБА	(90 - 95] дБА	(95 - 100] дБА

Рис. П1.9 – Карта шума эквивалентных уровней звука для участка вблизи ст. Столбовая

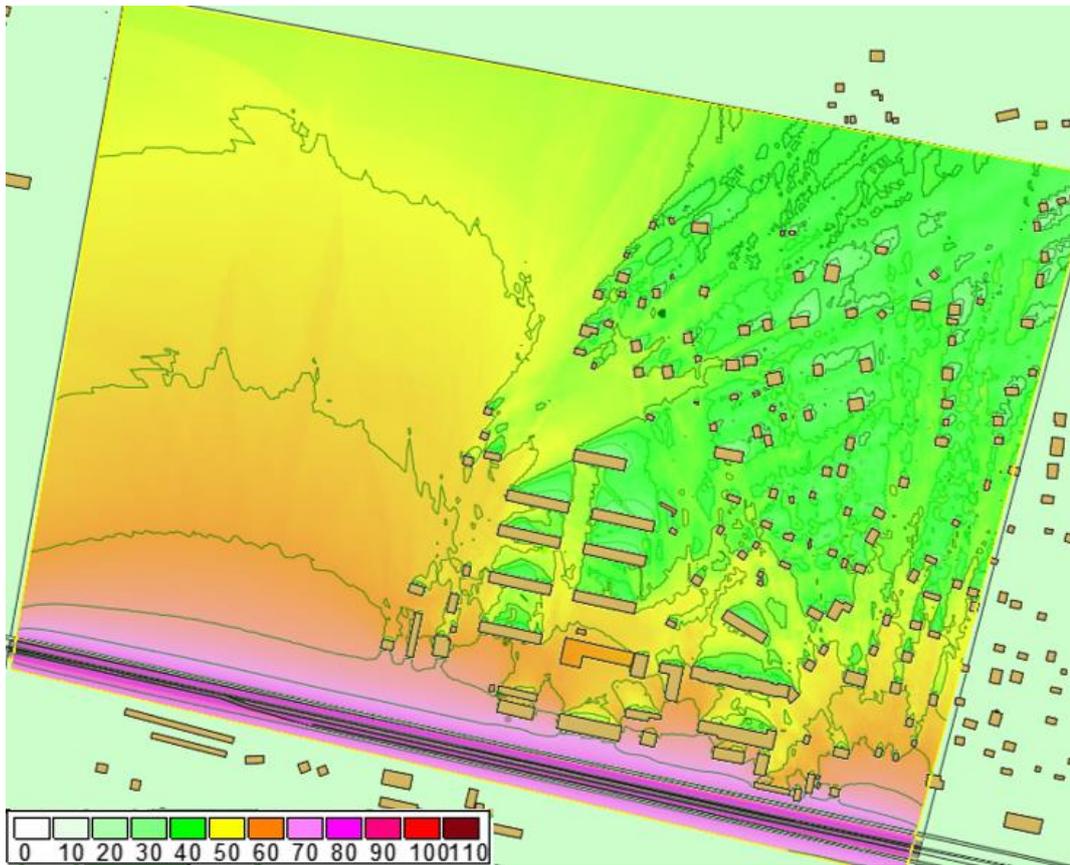
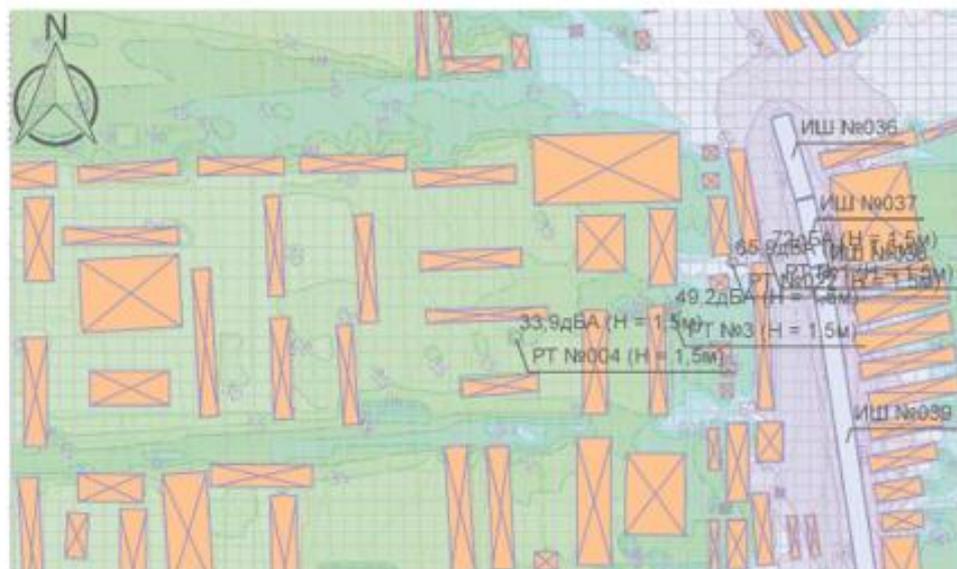


Рис. П1.10 – Карта шума эквивалентных уровней звука для участка вблизи ст. Столбовая



**Цветовая схема**

0 и ниже дБА	(5 - 10] дБА	(10 - 15] дБА	(15 - 20] дБА
(20 - 25] дБА	(25 - 30] дБА	(30 - 35] дБА	(35 - 40] дБА
(40 - 45] дБА	(45 - 50] дБА	(50 - 55] дБА	(55 - 60] дБА
(60 - 65] дБА	(65 - 70] дБА	(70 - 75] дБА	(75 - 80] дБА
(80 - 85] дБА	(85 - 90] дБА	(90 - 95] дБА	(95 - 100] дБА

Рис. П1.11 – Карта шума эквивалентных уровней звука в дневное время на участке вблизи ст. Путепровод

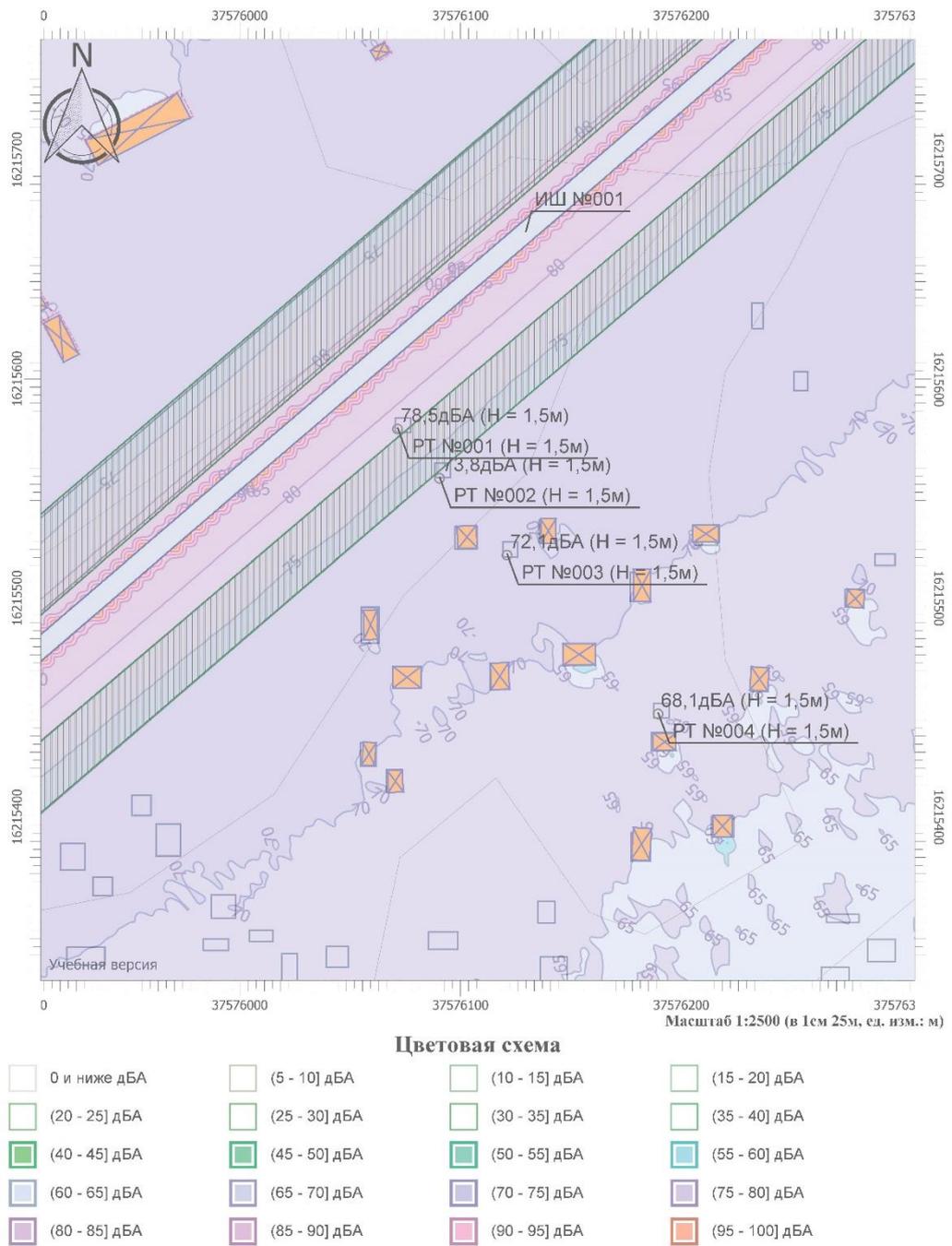


Рис. П1.12 – Карта шума эквивалентных уровней звука в дневное время для участка в СНТ Клязьма

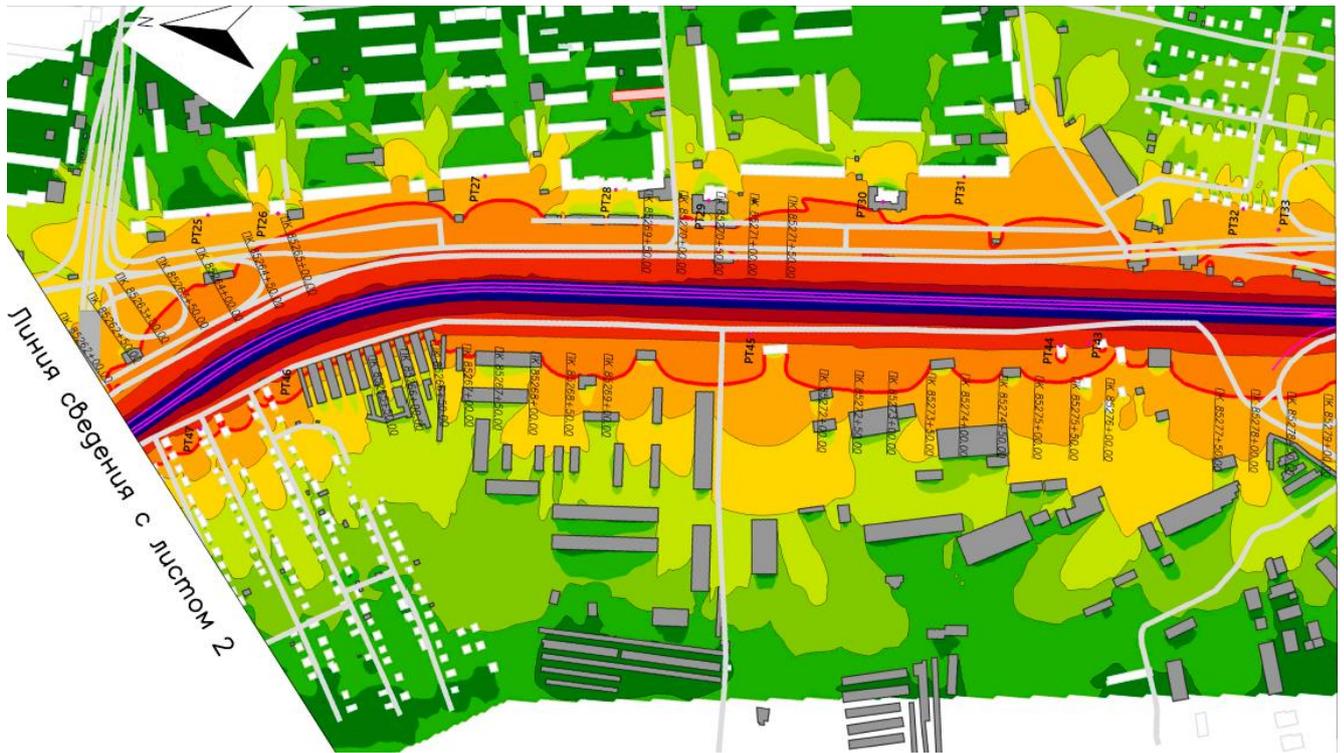


Рис. П1.13 – Карта шума эквивалентных уровней звука для участка третьего пути на перегоне Хабаровск I – Хабаровск II

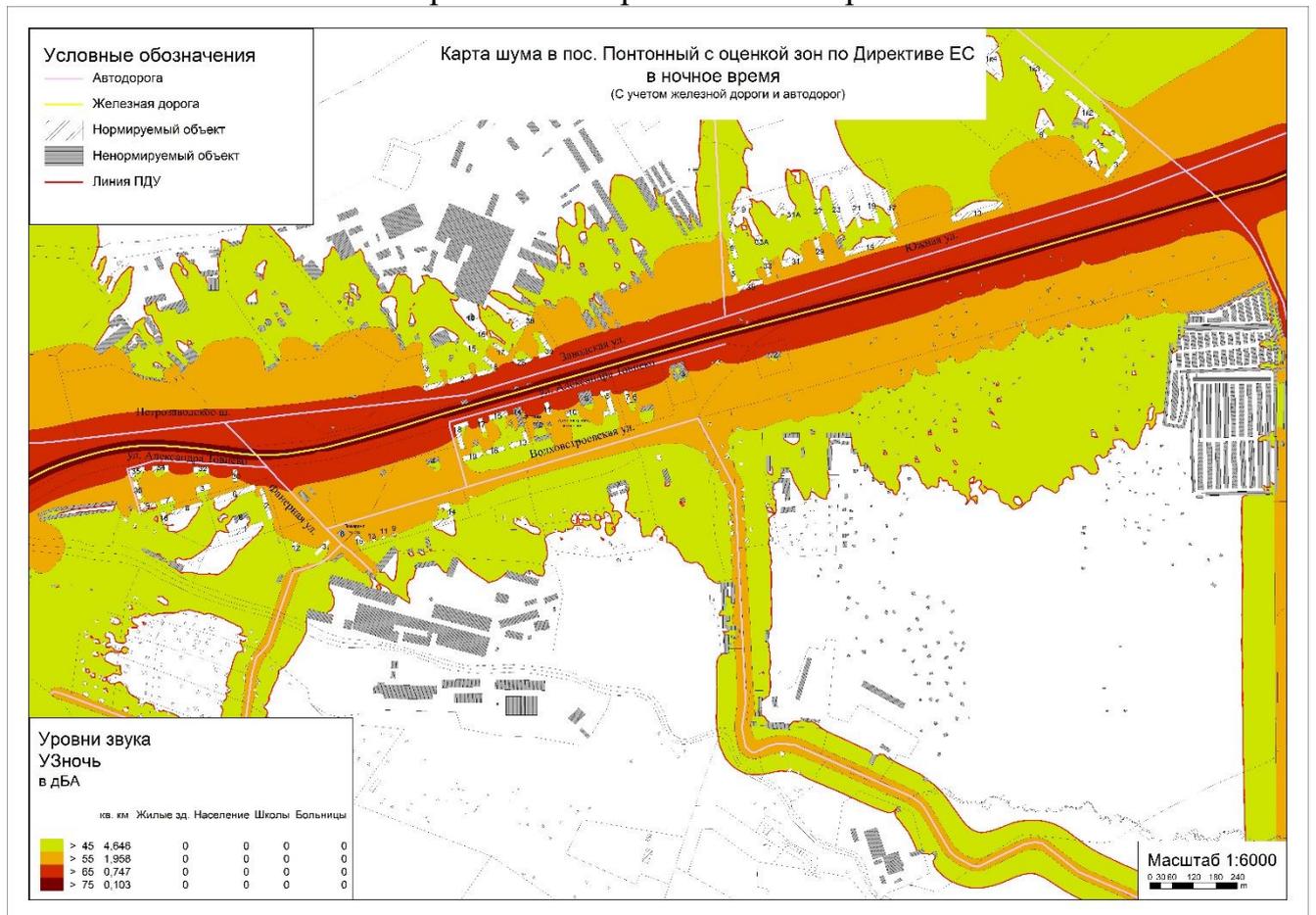


Рис. П1.14 – Карта шума эквивалентных уровней звука в пос. Понтонный с оценкой зон по Директиве ЕС

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

**Таблица П2.1. Шумовые характеристики участков железных дорог**

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
1	Московская железная дорога	станция Железнодорожная – станция Кучино	1	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	43	67	38	211	17	14	65,1	75,0	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи железнодорожной станции
2	Московская железная дорога	станция Железнодорожная – станция Кучино	1	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	57	81	39	211	17	14	69,0	77,7	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
3	Московская железная дорога	станция Маленковская –	1	Железнодорожная линия с преимущественно	71	65	-	329	32	-	68,8	74,8	Прямолинейный участок железной

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
		станция Москва-3		но пассажирским движением									дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
4	Московская железная дорога	станция Лосиноостровская – станция Лось	1	Особогрузонапряженная железнодорожная линия	62	-	-	327	32	39	72,8	79,1	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
5	Московская железная дорога	станция Москва-Тов. – станция Нижегородская	1	Особогрузонапряженная железнодорожная линия	65	58	-	195	4	-	73,6	84,3	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
6	Московская железная дорога	станция Москва-Пасс.-	1	Особогрузонапряженная	36	40	-	581	42	-	70,3	75,0	Прямолинейный участок железной

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
		Курская – станция Серп и молот		железнодорожная линия									дороги, расположенный вблизи железнодорожной станции
7	Московская железная дорога	станция Электрозаводская – станция Перово-4	1	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	63	49	-	210	104	-	68,8	78,7	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
8	Горьковская железная дорога	станция Юрьевец – станция Колокша	1	Скоростная железнодорожная линия	112	141	68	13	26	22	72,3	87,1	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
9	Горьковская железная дорога	станция Автоприбор – станция	1	Скоростная железнодорожная линия	97	107	66	13	25	19	70,7	83,3	Прямолинейный участок железной дороги,

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
		Боголюбово											расположенный на удалении от железнодорожных станций
10	Красноярская железная дорога	станция Бугач – станция Северное шоссе	1	Железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением	52	-	41	25	-	57	68,0	79,8	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
11	Красноярская железная дорога	станция Бугач – станция Северное шоссе (в районе станции Бугач)	1	Железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением	40	70	31	49	23	57	70,6	79,6	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи от железнодорожной станции
12	Красноярская железная дорога	станция Путепровод – станция	1	Железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением	38	50	28	37	23	10	68,3	82,1	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
		Красноярск-Пасс.											й вблизи от железнодорожной станции
13	Московская железная дорога	станция Кубинка-1 – станция Кубинка-2	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	-	-	32	8	-	31	64,7	75,9	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
14	Московская железная дорога	станция Манихин о-1 – станция Троицкая	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	70	-	38	86	-	37	73,6	85,5	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи от железнодорожной станции
15	Московская железная дорога	станция Верхние котлы – станция Тульская	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	48	55	-	187	28	-	68,0	78,0	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи от

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
													железнодорожной станции
16	Московская железная дорога	станция Подосинки – станция Куровская	2	Железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением	34	-	37	33	34	37	70,2	77,8	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи от железнодорожной станции
17	Горьковская железная дорога	станция Толоконцево – станция Рекшино	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	56	100	62	26	13	30	68,8	79,1	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи от железнодорожной станции
18	Красноярская железная дорога	станция Абакан – станция Мостоотряд	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	53	-	58	2	1	40	67,8	84,3	Криволинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
													железнодорожных станций
19	Красноярская железная дорога	станция Абакан – станция Абакан-Сортировочная	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	47	-	28	2	2	43	68,7	80,5	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи от железнодорожной станции
20	Красноярская железная дорога	станция Абакан-Сортировочная – станция Городок МПС	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	-	59	28	2	2	43	71,9	83,5	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи от железнодорожной станции
21	Красноярская железная дорога	станция Городская – станция Садовая (в районе станции Карай)	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	-	-	30	2	-	32	63,7	75,3	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи от железнодорожной станции

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
22	Северо-Кавказская железная дорога	станция Рабочий городок – станция Ростов-Главный	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	49	38	25	18	72	32	64,3	77,7	Криволинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
23	Северо-Кавказская железная дорога	станция Рабочий городок – станция Ростов-Главный (линия ж/д вдоль ул. Нансена)	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	43	56	38	18	72	32	64,8	76,8	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
24	Северо-Кавказская железная дорога	станция Невинномысская – станция 1737 км (в районе станции)	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	31	45	34	8	21	39	72,9	76,8	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи железнодорожной станции

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
		Невинномысской)											
25	Северо-Кавказская железная дорога	станция 7 км – станция Милованово	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	34	37	25	6	6	29	65,3	77,5	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи железнодорожной станции
26	Северо-Кавказская железная дорога	станция 1574 км – станция Мирская	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	47	122	58	8	27	54	75,3	84,5	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи железнодорожной станции
27	Северо-Кавказская железная дорога	станция Кавказская – станция 1578 км и станция Кавказская –	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	63	50	38	8	27	54	68,1	79,3	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи железнодорожной станции

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
		станция 7 км											
28	Северо-Кавказская железная дорога	станция Кавказская – станция Гетмановская	2	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	30	-	26	2	2	26	62,7	76,9	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи железнодорожной станции
29	Северо-Кавказская железная дорога	станция ЗИП – станция Сады	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	68	74	52	14	30	-	70,8	87,5	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
30	Северо-Кавказская железная дорога	станция Краснодара 2 – станция ЗИП	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	24	51	-	14	30	-	58,5	73,6	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
													железнодорожных станций
31	Северо-Кавказская железная дорога	станция Абинская – станция Эриванский	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	-	65	53	6	31	24	66,6	83,4	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
32	Северо-Кавказская железная дорога	станция Варениковская – станция Юровский	2	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	-	45	48	-	47	45	75,7	88,5	Криволинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций (расстояние до ближайшей станции)

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
													составляет 1 км)
33	Московская железная дорога	станция Детская – станция Фрязино-Тов.	3	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	35	-	-	45	-	-	63,4	78,7	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи железнодорожной станции
34	Московская железная дорога	станция Матвеевская – станция Очаково	3	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	68	74	-	174	26	-	65,8	76,9	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
35	Московская железная дорога	станция Балашиха – станция Горенки	4	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	31	-	-	33	-	4	65,9	80,3	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
													железнодорожной станции
36	Московская железная дорога	станция Москва Рижская – станция Дмитровская (со стороны 8-го проезда Марьиной Роши)	4	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	30	-	-	50	-	-	55,4	71,8	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций
37	Московская железная дорога	станция Москва-Рижская – станция Дмитровская (со стороны Проектируемого проезда № 1135)	4	Железнодорожная линия с преимущественно пассажирским движением	46	-	-	134	-	-	65,0	76,7	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный на удалении от железнодорожных станций

№ п/п	Полигон железной дороги	Перегон	Класс линии и по методике РЖД	Специализация линии по методике РЖД	Средняя скорость движения поездов, км/ч			Интенсивность движения поездов в дневное время суток с 07:00 до 23:00			Шумовая характеристика потока поездов		Описание условий проведения измерений, характеристик объектов испытаний и примечания
					Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Пригородные электропоезда (и иные пригородные поезда)	Пассажирские поезда (в том числе скоростные поезда «Ласточка» и «Стриж»)	Грузовые поезда	Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq}$ потока, дБА	Максимальный уровень звука $L_{Amax}$ потока, дБА	
38	Московская железная дорога	станция Столбова – станция Молоди	4	Железнодорожная линия с преимущественно грузовым движением	64	114	24	76	18	33	69,1	81,5	Прямолинейный участок железной дороги, расположенный вблизи железнодорожной станции

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3.**

**РАСЧЕТЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА В УСЛОВИЯХ ЗАСТРОЙКИ**

**Таблица ПЗ.1 – Расчеты снижения шума в условиях городской застройки**

Участки	Затухание звука, дБА (Эксперимент)	Затухание звука, дБА (Расчет по ГОСТ 31295.2-2005)	<i>l</i> (отношение длин сторон здания)	<i>p</i> (отношение длины просветов между зданиями к общей длине)	<b>C</b>	<b>Z0</b>	<b>Kвыс</b>	Затухание звука, дБА (Расчет по формулам)	Разница между экспериментальным и расчетными значениями	Разница между значениями, полученными по ГОСТ и расчетными значениями
<b>Участок 25 – 50 м от железной дороги</b>										
Ст. Серп и Молот	6,9	8,8	0,80	0,33	23,29	1,50	1,41	8,4	-1,5	0,4
Ст. Северное шоссе – ст. Бугач	8,1	4,7	2,33	0,22	31,00	1,00	1,26	10,6	-2,5	-5,9
<b>Участок 50 – 100 м от железной дороги</b>										
Марьино Роща	5,1	7,3	0,30	0,65	19,72	3,00	2,00	6,5	-1,4	0,8
пл. Верхние котлы	5,4	5,1	0,50	0,33	20,45	1,50	1,41	7,6	-2,2	-2,5
<b>Участок 100 – 200 м от железной дороги</b>										
Ст. Столбовая	14,50	7,9	6,50	0,35	42,90	1,50	1,41	14,3	0,2	-6,4
Ст. Пугепровод	12,90	6,8	4,00	0,31	35,71	3,00	2,00	12,7	0,2	-5,9
Ст. Бугач	15,70	15,2	7,10	0,29	50,30	1,50	1,41	16,6	-0,9	-1,4
Ст. Детская	11,10	8,6	0,20	0,78	25,41	3,00	2,00	9,7	1,5	-1,1
Марьино Роща	8,80	5,8	0,30	0,78	26,81	3,00	2,00	10,1	-1,3	-4,3
Ст. Серп и Молот	5,50	5,3	0,30	0,63	18,91	1,50	1,41	6,1	-0,6	-0,8
Ст. Куровская	7,60	4,8	0,20	0,59	16,45	1,50	1,41	6,4	1,2	-1,6
пл. Верхние котлы	10,50	8,7	0,60	0,58	21,03	1,50	1,41	8,7	1,8	0,0

Участки	Затухание звука, дБА (Эксперимент)	Затухание звука, дБА (Расчет по ГОСТ 31295.2-2005)	$l$ (отношение длин сторон здания)	$p$ (отношение длины просветов между зданиями к общей длине)	$C$	$Z_0$	$K_{выс}$	Затухание звука, дБА (Расчет по формулам)	Разница между экспериментальным и расчетными значениями	Разница между значениями, полученными по ГОСТ и расчетными значениями
ст. Матвеевская – ст. Очаково	12.90	6.1	0.70	0.08	36.48	3.00	2.00	13,0	-0.1	-6.9
пос. Железнодорожный	7.90	5.8	0.70	0.52	20.95	3.00	2.00	8.3	-0.4	-2.5
пл. Маленковская	15.50	16.0	2.30	0.08	48.22	3.00	2.00	16.5	-1.0	-0.5
Ст. Лосиноостровская	20.30	5.7	9.90	0.01	65.71	3.00	2.00	21.8	-1.5	-16.1
Ст. Северное шоссе – ст. Бугач	22.60	6.8	8.70	0.08	62.01	3.00	2.00	20.7	1.9	-13.9

**Таблица ПЗ.2 – Расчеты снижения шума в условиях сельской застройки**

Участки	Загухание звука, дБА (Эксперимент)	Загухание звука, дБА (Расчет по ГОСТ 31295.2-2005)	<i>B</i> (плотность застройки)	<i>p</i> (отношение средней длины просветов между зданиями к общей длине)	<i>C</i>	<i>Z0</i>	<i>K</i> <sub>выс</sub>	Загухание звука, дБА (Расчет по формулам)	Разница между экспериментальным и расчетными значениями	Разница между значениями, полученными по ГОСТ и расчетными значениями
<b>Участок 25 – 50 м от железной дороги</b>										
Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	7,3	4,4	0,11	0,21	25,05	1,00	1,26	8,8	-1,5	-4,4
<b>Участок 50 – 100 м от железной дороги</b>										
Ст. Толоконцево	6,3	4,4	0,11	0,15	23,32	1,00	1,26	8,3	-2,0	-3,9
СНТ Октябрь	8,4	4,0	0,08	0,19	23,02	1,00	1,26	8,2	0,2	-4,2
Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	7,3	4,0	0,11	0,21	25,02	1,00	1,26	8,8	-1,5	-4,8
Ст. Абинская	8,8	4,1	0,11	0,50	32,42	1,00	1,26	10,0	-1,2	-5,9
Ст. ЗИП	6,4	4,4	0,20	0,14	23,25	1,00	1,26	8,3	-1,9	-3,9
ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	8,3	4,9	0,19	0,10	19,71	1,00	1,26	7,2	1,1	-2,3
Ст. Варениковская	9,4	4,9	0,09	0,32	25,08	1,00	1,26	8,8	0,6	-3,9
<b>Участок 100 – 200 м от железной дороги</b>										
Ст. Детская	5,9	5,9	0,22	0,06	13,96	1,00	1,26	5,5	0,4	0,4
Ст. Кубинка (СНТ Авиатор)	10,2	5,3	0,09	0,05	21,41	1,00	1,26	7,7	2,5	-2,4
Ст. Толоконцево	9,7	5,4	0,10	0,06	21,00	1,00	1,26	7,6	2,1	-2,2

Участки	Затухание звука, дБА (Эксперимент)	Затухание звука, дБА (Расчет по ГОСТ 31295.2-2005)	<i>B</i> (плотность застройки)	<i>p</i> (отношение средней длины просветов между зданиями к общей длине)	<i>C</i>	<i>Z0</i>	<i>K</i> <sub>выс</sub>	Затухание звука, дБА (Расчет по формулам)	Разница между экспериментальным и расчетными значениями	Разница между значениями, полученными по ГОСТ и расчетными значениями
СНТ Октябрь	7,9	1,4	0,06	0,06	23,17	1,00	1,26	8,2	-0,3	-6,8
Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	6,4	4,6	0,11	0,15	23,19	1,00	1,26	7,2	-0,8	-2,6
Ст. Абинская	12,1	4,8	0,11	0,50	33,78	1,00	1,26	11,4	0,7	-6,6
Ст. ЗИП	7,5	5,8	0,11	0,26	26,53	1,00	1,26	9,2	-1,7	-3,4
Ст. Кавказская	9,9	2,4	0,09	0,43	26,64	1,00	1,26	9,3	0,6	-6,9
Ст. Невинномысская	9,5	4,9	0,09	0,18	23,22	1,00	1,26	8,2	1,3	-3,3
ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	7,2	5,5	0,26	0,14	23,82	1,00	1,26	8,4	-1,2	-2,9
Ст. Манихино–1	4,6	4,6	0,05	0,20	20,99	1,00	1,26	6,6	-2,0	-2,0
СНТ Клязьма	6,0	5,8	0,02	0,20	19,06	1,00	1,26	7,0	-1,0	-1,2
Ст. Варениковская	5,0	4,6	0,03	0,28	16,83	1,00	1,26	6,3	-1,3	-1,7

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

**«УТВЕРЖДАЮ»:**

Начальник центра  
охраны окружающей среды  
Свердловской железной дороги –  
Филиала ОАО «РЖД»

Рябухин Э.А.



02 2024 г.

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Шабаровой А.В.  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
на тему: «Снижение воздействия железнодорожного шума на существующую и  
проектируемую жилую застройку»

Комиссия в составе заместителя начальника центра Коробициной И.С. и инженера по охране окружающей среды (эколог) 1 категории Лариной Е.А. составила настоящий акт о том, что результаты диссертации Шабаровой Анастасии Владимировны на тему «Снижение воздействия железнодорожного шума на существующую и проектируемую жилую застройку» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7 Акустика, использованные при разработке документа «Методические указания по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов железнодорожного транспорта», применяются в работе Центра охраны окружающей среды Свердловской железной дороги – филиала РЖД.

Результаты диссертационной работы используются Центром охраны окружающей среды для оценки акустической ситуации на участках железной дороги, где были выявлены превышения предельно допустимых уровней шума на прилегающей селитебной территории, что позволяет выбирать наиболее подходящие к конкретному типу застройки шумозащитные мероприятия в случае их необходимости и повышает общую эффективность при разработке шумозащитных мероприятий.

Заместитель начальника центра

Коробицина И.С.

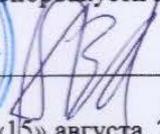
Инженер по охране окружающей  
среды (эколог) 1 категории

Ларина Е.А.





**УТВЕРЖДАЮ:**  
Начальник ИЛ  
ООО «Институт  
Виброакустических Систем»

  
Выриков А.Н.  
«15» августа 2024 г.

### **Акт внедрения**

результатов диссертационного исследования Шабаровой А.В. на тему «Снижение воздействия железнодорожного шума на существующую и проектируемую жилую застройку»

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационного исследования Шабаровой Анастасии Владимировны на тему «Снижение воздействия железнодорожного шума на существующую и проектируемую жилую застройку» на соискание ученой степени кандидата технических наук внедрены в работу организации.

Результаты диссертационного исследования использовались ООО «Институт Виброакустических Систем» при разработке проектов по оценке акустического воздействия и разработке шумозащитных мероприятий от шума железнодорожного транспорта. Методики и подходы, описанные в диссертации, позволяют сократить временные затраты на выбор подходящих для объекта шумозащитных мероприятий, а также увеличить точность расчетов распространения шума в условиях жилой застройки.

Главный инженер проекта



Е.А. Базанова