

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова»



На правах рукописи

**Васильев Александр Петрович**

**ОЦЕНКА, РАСЧЕТ И СНИЖЕНИЕ ВНЕШНЕГО ШУМА  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С МНОЖЕСТВЕННЫМИ  
ИСТОЧНИКАМИ ШУМА**

Специальность 1.3.7 – Акустика

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
доцент  
Буторина Марина Вадимовна

Санкт-Петербург  
2025

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	12
1.1 Проблема воздействия шума промышленных объектов на население .....	12
1.2 Нормы шума в жилой застройке .....	17
1.3 Основные источники внешнего шума предприятий .....	20
1.4 Методы расчета внешнего шума промышленного предприятия .....	22
1.5 Описание объекта исследования .....	32
1.6 Пути, методы и средства снижения внешнего шума предприятий .....	41
1.7 Основные задачи исследования .....	46
Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНЕШНЕГО ШУМА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ .....	48
2.1 Методика измерений шумовых характеристик источников на территории предприятия .....	49
2.2 Результаты измерений шумовых характеристик источников шума .....	58
2.3 Экспериментальные исследования распространения шума от промышленного предприятия .....	61
2.4 Методика измерений шума на селитебной территории .....	67
2.5 Характеристики шума в жилой застройке .....	71
2.6 Требования к снижению шума .....	75
Выводы по главе .....	76
Глава 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ВНЕШНЕГО ШУМА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С МНОЖЕСТВЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ШУМА .....	78
3.1 Определение акустической мощности, излучаемой предприятием .....	78
3.2 Расчет звукового поля, образованного плоским источником шума .....	83
3.2.1 Основные положения теории. Допущения теории .....	83
3.2.2 Границы расчетов .....	86
3.2.3 Правило расчетов .....	87
3.2.4 Разработка математической модели для оценки распространения шума промышленного предприятия .....	90
3.3. Теоретические исследования звукового поля, образованного плоским источником	93
Выводы по главе .....	98
Глава 4. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВНЕШНЕГО ШУМА ПРЕДПРИЯТИЯ .....	99
4.1 Шумозащитное зонирование территории вблизи промышленного предприятия ..	99
4.2 Снижение шума источников звукоизолирующими кожухами .....	102
4.3 Снижение шума источников акустическими экранами .....	104
4.4 Снижение шума источников диссипативными глушителями .....	105

4.5	Методика выбора шумозащитных мероприятий для промышленных предприятий	107
4.6	Результаты применения методики выбора шумозащитных мероприятий для действующего промышленного предприятия .....	109
4.7	Апробация результатов исследования.....	122
	Выводы по главе .....	123
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	124
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	128
	Приложение 1. Результаты измерения шумовых характеристик источников.....	149
	Приложение 2. Результаты расчета распространения шума по предложенным методикам .....	159
	Приложение 3. Акты внедрения.....	160

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Воздействие шума на население по сей день остаётся большой проблемой, о чем свидетельствуют ежегодные доклады Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. По данным 2024 года сверхнормативным воздействиям физических факторов подвержено 62,4 млн человек. Среди различных источников шума, автотранспорта, железных дорог, выделяются промышленные предприятия. Они облагают рядом особенностей, что требует особого подхода к снижению шума данного источника. В отличие от других источников, промышленные предприятия занимают большую площадь и состоят из множества отдельных источников шума, которые и образуют шум предприятия в целом. На больших предприятиях количество источников шума может достигать до 300 и более. Еще одна особенность предприятий – высота источников шума, источники могут быть расположены как на земле (например, входящие в состав предприятия автодороги), так и на большой высоте – на крыше и фасадах зданий, или на высоте труб, которые могут достигать 30 метров.

Источники также имеют различную форму, большинство – точечные, но также присутствуют линейные и площадные источники. Площадными источниками чаще всего являются стены, окна цехов, внутри которых расположено оборудование.

Вопросами изучения распространения звука от источников различной формы в нашей стране занимались Юдин Е.Я., Клюкин И.И., Боголепов И.И., Осипов Г.Л., Н.И. Иванов, М.В. Буторина, В.П. Гусев, И.К. Пименов, В.И. Леденев, А.И. Антонов, Е.О. Соломатин, И.В. Матвеева, В.В. Светлов и др. За рубежом над данными вопросами работали: М. Дж. Крокер, З. Маекава, Х. Дж. Йонассон, М. Дж. Диттрих и др.

Таким образом предприятие представляет собой набор большого количества источников шума каждый из которых необходимо учитывать в

расчёте, что делает расчёт очень трудоемким, зачастую невозможным без разработки точной модели объекта в специализированном программном комплексе.

Представление предприятия как единого площадного источника шума позволит упростить расчет, в том числе даст возможность выполнять ориентировочные расчёты без построения полной модели предприятия. Кроме того, данный подход позволит сократить количество источников шума, учитываемых в расчёте до минимального количества значимых источников, отбросив те источники шума, которые не вносят вклад в общую шумовую картину.

Вторым важным вопросом после расчета распространения шума от предприятия является его снижение. Так как источники шума расположены в разных местах промышленной площадки и имеют различную высоту требуется комплексный подход к разработке шумозащитных мероприятий. Мероприятия должны быть разработаны поэтапно для источников шума, вносящих наиболее значимый вклад в уровни шума на жилой территории. Большое значение будет играть снижение шума в источнике, а не только на пути его распространения.

Разработка методики выбора шумозащитных мероприятий позволит значительно сократить время на принятие решений о шумозащите и выбрать наиболее рациональный комплекс мероприятий.

Одним из средств снижения шума является разработка санитарно-защитных зон, однако данный подход является затратным так как иногда требует выкупа предприятием территорий, попадающих в санитарно-защитную зону. С другой стороны, если предприятие находится в черте города, то выделение больших площадей для санитарно-защитной зоны является нецелесообразным так как теряются значительные территории для потенциальной застройки. Зонирование территорий вблизи предприятий с указанием перечня необходимых шумозащитных мероприятий для

достижений нормативных значений в каждой из зон (находящихся на различном удалении от предприятия) позволит сократить размер санитарно-защитной зоны и заранее запланировать объем мероприятий для снижения шума.

Предлагаемые в работе подходы к расчету и снижению шума промышленных предприятий позволят проводить предварительную оценку воздействия предприятия на жилую территорию и минимизировать трудозатраты на разработку шумозащитных мероприятий.

### **Научно-техническая гипотеза:**

Разработка расчетного метода для оценки распространения шума промышленного предприятия как площадного источника позволит уточнить и упростить расчет ожидаемых уровней шума на жилой территории, а также разработать наиболее эффективные шумозащитные мероприятия.

**Целью работы** является разработка научно обоснованного подхода к расчету распространения внешнего шума промышленного предприятия, как от плоского источника, а также разработка рекомендаций по снижению шума, воздействующего на прилегающие к предприятию территории.

### **Задачи исследования:**

- выполнение теоретических исследований распространения шума промышленных предприятий;
- разработка методики экспериментальных исследований уровней звуковой мощности источников шума промышленного предприятия и распространения шума от промышленных предприятий;
- выполнение теоретических исследований для классификации источников шума предприятия по степени их значимости;
- разработка расчетных схем и математической модели для оценки распространения шума предприятия как от плоского источника шума;
- разработка рекомендаций по выбору шумозащитных мероприятий для различных источников шума предприятия;

- разработка рекомендаций по зонированию территорий вблизи промышленных предприятий;

- апробация на практике предложенных моделей, правил и подходов.

**Объекты исследования** – промышленные предприятия как источник шума.

**Предмет исследования** – распространение шума промышленного предприятия.

**Научная новизна:**

1. На основе развития статистической геометрической теории акустики, предложена математическая модель формирования звукового поля, создаваемого предприятием, отличающаяся представлением предприятия в качестве плоского источника шума, что позволяет уточнить шумовую характеристику предприятия и улучшить качество оценки его воздействия на прилегающие территории;

2. На основе предложенной математической модели разработаны расчетные формулы, выполнение расчета по которым позволяет повысить точность и уменьшить трудозатраты при расчете ожидаемых уровней звука и уровней звукового давления от промышленного предприятия;

3. Выполнена оценка влияния отдельных источников шума на формирование звукового поля предприятия, учитывающая величину их вклада, что позволило разработать правила оценки значимости источников и, как следствие, сократить трудозатраты на при прогнозировании акустической обстановки на прилегающих территориях.

**Теоретическая значимость исследования** заключается в разработке принципа представления предприятия с множественными источниками шума как плоского источника, в разработке расчетных схем и математической модели распространения шума от предприятия как от плоского источника

шума, в разработке методов оценки снижения шума и способов выбора шумозащитных мероприятий для различных источников шума предприятий.

**Практическая значимость исследования:**

1. Разработана методика экспериментальных исследований шумовых характеристик источников шума предприятий;
2. Разработана методика экспериментальных исследований распространения шума от промышленных предприятий
3. Разработаны расчетные формулы для оценки распространения шума от промышленных предприятий;
4. Разработаны рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий для источников шума предприятий;
5. Разработан принцип зонирования территорий вблизи предприятий.

**На защиту выносятся:**

1. Методики экспериментальных исследований шумовых характеристик источников шума предприятий и распространения шума промышленных предприятий;
2. Математическая модель представляющая предприятие с множественными источниками шума в виде плоского источника, результаты исследования характера снижения шума на местности;
3. Правило выбора значимых и незначимых источников шума предприятия;
4. Расчетные формулы распространения звука от промышленного предприятия как от плоского источника шума;
5. Рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий для различных источников шума на предприятии;
6. Принцип зонирования территорий вблизи предприятий по фактору шума.

### **Методология и методы исследования.**

Теоретической и методологической базой исследования послужили фундаментальные и прикладные работы в области акустики, посвященные распространению звука от источников различной конфигурации. Методология работы базировалась на комплексном применении системного анализа, математического моделирования и методов статистической обработки данных. Эмпирическая основа была сформирована в ходе серии натуральных экспериментов, которые включали замеры шумовых характеристик самих источников (выборка свыше 200 единиц на различных промышленных объектах) и последующий мониторинг уровней шума на прилегающих к ним территориях, включая жилую застройку.

### **Степень достоверности.**

Достоверность результатов диссертационного исследования обеспечена проведением натуральных экспериментов с применением прецизионных средств измерений и современных методов обработки данных. Выявленное соответствие между теоретическими моделями и результатами практических измерений подтверждает корректность полученных выводов. Кроме того, надёжность работы обоснована методологически: использован комплекс методик, разработанный в соответствии с действующими нормативно-техническими документами, а её результаты прошли успешную апробацию на действующих промышленных предприятиях и внедрены в практику проектирования шумозащиты.

### **Апробация результатов исследования:**

Основные положения диссертации представлены и обсуждались на заседаниях кафедры «Экология и производственная безопасность» БГТУ «ВОЕНМЕХ» в 2025 г.; на X Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Акустика среды обитания», г. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 29 – 30 мая 2025 г.; Международной научной конференции XVI Академические чтения, посвященные 100 – летию академика РААСН

Бондаренко В.М. и 96-летию академика РААСН Осипова Г.Л. «Актуальные вопросы строительства. Надежность строительных конструкций. Энергосбережение. Экологическая безопасность. Искусственный интеллект» г. Москва (НИИСФ) 1-3 июля 2025 г.; на X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации», Санкт-Петербург (БГТУ «ВОЕНМЕХ»), 1 – 3 октября 2025 г.

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

Результаты работы были использованы при разработке шумозащитных мероприятий для снижения шума на границе санитарно-защитной зоны на предприятии ООО «Белагротерминал», расположенного по адресу Республика Беларусь, Гродненская обл., г. Сморгонь, ул. Логистическая, д. 4, к. 15, и на границе санитарно-защитной зоны производственно-логистического комплекса ГК «Содружество», расположенного по адресу: Калининградская обл., г. Светлый, ул. Гагарина, д. 65. Также полученные в ходе исследования результаты внедрены в работу ООО «Институт Виброакустических Систем» для целей разработки проектов по оценке акустического воздействия и разработке шумозащитных мероприятий от шума промышленных объектов, а также при разработке проектов санитарно-защитных зон.

**Личный вклад соискателя** ученой степени заключается в непосредственном выполнении всех ключевых этапов исследования. Соискатель самостоятельно провел анализ отечественных и зарубежных литературных источников, организовал и осуществил экспериментальную часть работы, разработал необходимые математическую модель и расчетные формулы, а также поставил и решил основные задачи исследования. Работа в целом является самостоятельным и завершенным исследованием. В публикациях, подготовленных в соавторстве, автору принадлежат формулировка и описание экспериментальных данных, анализ выявленных закономерностей, а также обобщение выводов.

**Публикации:**

По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе 6 в журналах, входящий в Перечень ведущих научных журналов ВАК Минобрнауки РФ, и 1 статья в журнале, индексируемом в базах SCOPUS и Web of Science.

**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 ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1 Проблема воздействия шума промышленных объектов на население**

Воздействие акустического загрязнения на здоровье и качество жизни населения представляет собой масштабную и устойчивую проблему для современных урбанизированных территорий. Жители городов, а также население моногородов и небольших населенных пунктов ежедневно сталкиваются с комплексным шумовым воздействием. Его основными источниками выступают интенсивные транспортные потоки (автомобильные, железнодорожные, авиационные), а также промышленные предприятия, которые исторически сложились в черте жилой застройки.

Статистические данные Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) за 2024 год демонстрируют что на протяжении последнего десятилетия численность граждан, проживающих в условиях воздействия повышенных уровней физических факторов (где доминирующим является именно шум), остается критически высокой, колеблясь около отметки в 60 млн человек. В отчетном году этот показатель достиг 62,4 млн человек, что соответствует 42,7% от общей численности населения страны. Для сравнения, в 2023 году эта доля составляла 41%, что указывает не только на отсутствие положительной динамики, но и на тенденцию к ухудшению ситуации. В 2024 г. 17,0% всех замеров уровня шума на территории жилой застройки не соответствовали установленным гигиеническим нормативам.

Анализ структуры жалоб граждан позволяет выявить ключевые источники проблемы. Жалобы на акустическое загрязнение составляют подавляющее большинство (73,5%) среди всех обращений, связанных с физическими факторами. При этом, как и в предшествующие периоды, основными объектами-нарушителями остаются промышленные предприятия,

технологические циклы которых связаны с эксплуатацией значительного массива вентиляционного оборудования (вентиляторы, градирни, системы аспирации) [1].

Длительное, хроническое воздействие повышенного шума имеет серьезные медико-социальные последствия. Со стороны сердечно-сосудистой системы это выражается в стойком повышении артериального давления, возрастании риска развития ишемической болезни сердца и инфарктов миокарда. Не менее значимо влияние на центральную нервную систему: шум является мощным стресс-фактором, приводящим к повышенной утомляемости, снижению когнитивных функций (концентрации, памяти), эмоциональной неустойчивости, раздражительности и риску развития невротических состояний.

Особую категорию риска формирует ночное шумовое воздействие. Нарушение гигиены сна, вызванное посторонним шумом, препятствует полноценному восстановлению организма. Это не только усугубляет перечисленные выше негативные эффекты, но и самостоятельно повышает риск метаболических нарушений, снижения иммунитета и ухудшения психического здоровья. Исследования убедительно демонстрируют прямую корреляцию между проживанием в шумных районах и увеличением частоты расстройств сна, что подтверждает критическую важность обеспечения акустического комфорта в ночные часы [2, 3].

Основным источником шума в городах является автомобильный транспорт, в первую очередь за счет своего большого распространения, однако на сегодняшний день существуют эффективные методы борьбы с транспортным шумом, которые находят широкое применение. В первую очередь это установка шумозащитных экранов. Проблема шума промышленных предприятий, обусловлена близким расположением застройки относительно промышленных объектов, что вызвано нехваткой свободных территорий для нового строительства, а, следовательно, со

временем ситуация будет только усугубляться [4-8]. Особенность воздействия шума предприятий на прилегающую территорию обусловлена большим количеством источников шума, расположенных на разных высотах, что делает установку шумозащитных экранов малоэффективным мероприятием и требует разработки комплексного подхода к снижению шума.

Таким образом задачи по определению ожидаемых уровней звукового давления в жилой застройке и разработке шумозащитных мероприятий становятся все более приоритетными.

Источники шума, создающие повышенный шум в жилой застройке самые разнообразные: транспорт, инженерное оборудование, стройплощадки, промышленные предприятия и пр. [9]. Есть два пути определения ожидаемых уровней звука и звукового давления в жилой застройке: экспериментальный и расчетный.

Немалое число исследователей обращается к первому методу [10-33]. Он может дать исчерпывающую информацию для каждого частного случая, но малоприменим для вновь проектируемых объектов.

Расчеты ведутся в соответствии с действующими нормативно-техническими документами [34-38]. Существует определенный подход к расчетам. Как правило, источники шума принимаются точечными излучателями, фронт звуковой волны которых сферический. Пример такого расчета представлен в [39].

Ожидаемые уровни звукового давления в расчетной точке для схемы, представленной на рисунке 1.1.1, будет определяться по формуле:

$$L_{PT} = L_{W_{ист}} + ПН - 20 \lg \frac{R}{R_0} + 10 \lg \chi_{ист} - 10 \lg \Omega, \text{ дБ} \quad (1.1)$$

где  $L_{W_{ист}}$  – уровни звуковой мощности источника шума, ПН – показатель направленности источника шума, дБ (для ненаправленных источников ПН=0);  $\chi_{ист}$  – коэффициент, учитывающий размер источника шума и расстояние от источника шума до расчётной точки в соответствии с таблицей 1.1.1;  $\Omega$  –

пространственный угол излучения, рад;  $R$  – расстояние от источника шума до расчетной точки, м;  $R_0$  – опорное расстояние ( $R_0=1$  м).

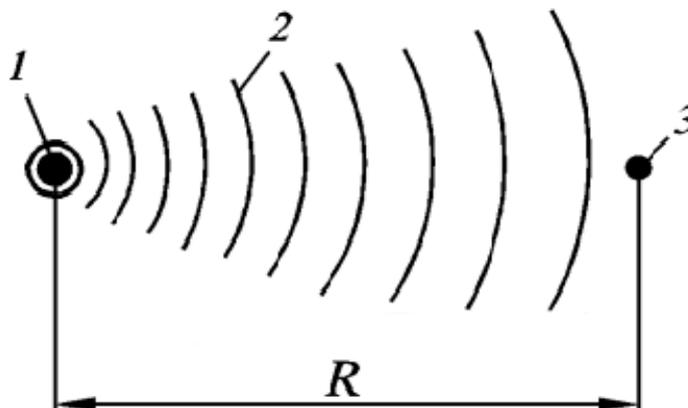


Рисунок 1.1.1 – Схема распространения звука от точечного источника шума в свободном пространстве: 1 – источник шума; 2 – сферическая звуковая волны; 3 – расчетная точка

Таблица 1.1.1. Зависимость коэффициента  $\chi$  от отношения размера источника шума к расстоянию до расчетной точки

Величина отношения $R/l_{\max}$	Величина коэффициента $\chi_{\text{ист}}$	$10\lg \chi_{\text{ист}}$
0,6	3,00	5
0,8	2,50	4
1,0	2,00	3
1,2	1,60	2
1,5	1,25	1
2,0	1,00	0

Для линейного источника шума конечных размеров, в соответствии с расчетной схемой на рисунке 1.1.2, ожидаемые уровни звукового давления определяются по формуле:

$$L_{PT} = L_{\text{ист}} - 10\lg \frac{R}{R_0} + 10\lg \arctg \frac{l_{\text{ист}}}{2R}, \text{ дБ} \quad (1.2)$$

где  $L_{\text{ист}}$  – уровни звукового давления источника шума, дБ, измеренные на расстоянии  $R$ , м;  $R$  – расстояние от источника шума до расчетной точки, м;  $l_{\text{ист}}$  – длина линейного источника шума, м.

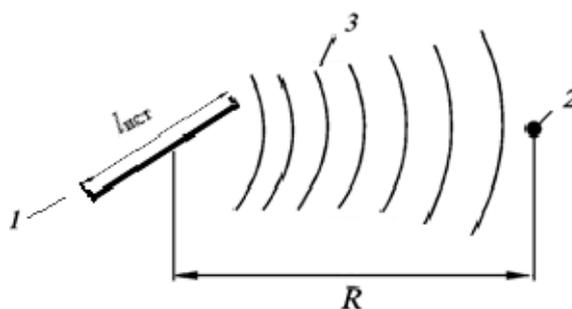


Рисунок 1.1.2 – Расчетная схема для линейного источника:

1 – линейный источник; 2 – расчетная точка; 3 – цилиндрическая звуковая волна

К сожалению, эти простые методы расчетов не всегда приводят к надежному результату. В качестве примера можно назвать стены здания с внутренними источниками шума, которые необходимо принимать как плоский излучатель, фронт звуковой волны которого плоский. Вопросами расчета звука от сложных источников: линейных, плоских, объемных занималась большая группа отечественных ученых И.И. Боголепов [40], Г.Л. Осипов [41], М.В. Буторина [42], В.П. Гусев [43], И.К. Пименов [44], В.И. Леденев [47], А.И. Антонов [48], Е.О. Соломатин [49-51], И.В. Матвеева [52-55], также эти вопросы рассматриваются зарубежными исследователями, например, в [56].

Так в работе [51] рассмотрена расчетная модель линейных, плоских и объемных источников шума. К сожалению рассмотренные результаты исследования в основном относятся к внутренним источникам шума, расположенным в зданиях. В работах В.П. Гусева [43] основное внимание уделено расчетам направленности звука источников шума. С наибольшей полнотой эти вопросы были проработаны М.В. Буториной [42], но объектом излучения являлась жилая застройка, которая выступала в качестве вторичного излучателя.

Опираясь на результаты проанализированных работ отметим важную направленность. Исследователи стремились аппроксимировать

многочисленные источники шума, расположенные на поверхности как линейные или плоские излучатели. Этот подход представляется чрезвычайно плодотворным. Обращаясь к объекту излучения, отметим, что он представляет собой набор многочисленных точечных и линейных излучателей звука, расположенного на плоскости большой площади. Напрашивается замена нескольких десятков или сотен источников шума одним плоским излучателем, акустическая мощность которого определяется из результатов эксперимента. Это позволяет чрезвычайно упростить расчеты, используя этот подход при проектировании подобных предприятий.

При использовании такого подхода необходимо решить 2 задачи:

1) Вопрос получения уровней звуковой мощности плоского излучателя;

2) Расчет шума от плоского источника с учетом перехода при увеличении расстояния фронта плоской звуковой волны в квазиплоскую, затем в цилиндрическую, квазичилиндрическую и затем, возможно, и в сферическую.

## **1.2 Нормы шума в жилой застройке**

С 01.03.2021 года на территории Российской Федерации действует основной документ, регламентирующий уровни звука и звукового давления на территориях и в помещениях защищаемых объектов, в том числе территории жилой застройки и помещениях жилых и общественных зданий – СанПиН 1.2.3685-21 [57]. Срок действия [57] установлен до 01.03.2027 г.

Согласно [57] нормируемыми параметрами шума являются: для источников постоянного шума – уровни звукового давления в октавных полосах, со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц и уровни звука, а для источников непостоянного шума – эквивалентные уровни звука и максимальные уровни звука. [57] устанавливает следующее правило отнесения шума к постоянному – постоянным считается шум, для

которого разность между наибольшим и наименьшим значениями уровня звука за временной интервал измерения не превышает 5 дБА при измерении на временной характеристике шумомера «медленно», и, соответственно, к непостоянному относится шум, не удовлетворяющий данному правилу.

Хотелось бы отметить некоторую путаницу в применяемой в СанПиН 1.2.3685-21 [57] терминологии, так, например, он смешивает и приравнивает друг к другу понятия «временной» характеристики источника шума с характеристикой шума в точке измерений. Таким образом в некоторой степени становится неоднозначным правовой статус ситуации, когда источники непостоянного шума создают в удаленной на достаточно большое от них расстояние точке измерений на территории защищаемого объекта шум, который по результатам анализа измерений классифицируется как постоянный. Однако данная нестыковка традиционно трактуется в пользу анализа фактической временной характеристики шума в точке измерений, независимо от характеристики шума источников, оказывающих преобладающее влияние в формировании звукового поля в точке измерений.

Так в соответствии с пунктами 5, 14 и 15 таблицы 5.35 СанПиН 1.2.3685-21 [57] установленные величины нормируемых параметров для помещений жилых зданий и территорий, непосредственно прилегающей к жилым зданиям, представлены в таблице 1.2.1:

Таблица № 1.2.1. Нормируемые параметры шума в октавных полосах частот, эквивалентных и максимальных уровней звука

П/п	Назначение помещений или территорий	Время суток	Для источников постоянного шума										Для источников непостоянного шума		
			Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровень звука $L_A$ , дБА	Эквивалентные уровни звука $L_{Aэкв}$ , дБА	Максимальные уровни звука $L_{Amax}$ , дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000				
1	Жилые комнаты квартир	с 7 до 23 ч.	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	40	55	

		с 23 до 7 ч.	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	30	45
2	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям жилых домов	с 7 до 23 ч.	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	55	70
		с 23 до 7 ч.	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	45	60
3	Границы санитарно-защитных зон	с 7 до 23 ч.	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	55	70
		с 23 до 7 ч.	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	45	60

Далее рассмотрим какие поправки могут применяться к нормативным значениям при оценке шума от промышленных предприятий. Поправка предусмотренная п. 103 СанПиН 1.2.3685-21 [57], в размере  $\Delta=+10$  дБА для эквивалентных и максимальных уровней звука для шума, создаваемого на территории прилегающей к первому эшелону шумозащитных типов жилых зданий, заданий гостиниц и общежитий, распространяется исключительно на транспортные объекты, такие как магистральные улицы общегородского и районного значения, а также железнодорожные линии и не распространяется на промышленные (производственные) объекты, даже при условии движения по территории данных объектов автомобильной и железнодорожной техники, и соответственно данная поправка не принимается к рассмотрению в работе. Аналогично, поправка в размере  $\Delta=-5$  дБА, предусмотренная п. 104 СанПиН 1.2.3685-21 [57], ужесточающая требования для шума от оборудования вентиляции, кондиционирования воздуха, холодоснабжения, распространяется только на шум от оборудования, обслуживающего здание и встроенно-пристроенные помещения, т.е. защищаемый объект, и применение данной поправки невозможно к ситуации когда источником шума является вентиляция промышленного предприятия.

Единственная поправка к нормируемым значениям, приведенная в п. 105 СанПиН 1.2.3685-21 [57], которую целесообразно принимать к рассмотрению

при оценке влияния промышленного предприятия на защищаемые объекты, это поправка на импульсный и тональный шум  $\Delta=+5$  дБА. Однако важно отметить нестыковку, предположительно вызванную опечаткой в нормативном документе СанПиН 1.2.3685-21 [57], заключающуюся в том, что для тонального и импульсного шума согласно п. 105 предписывает брать поправку для нормируемого значения  $\Delta=+5$  дБА, а более поздний с точки зрения внесенных изменений и исправлений, СП 51.13330.2011 (примечание 4 к таблице 1) [58], также как и предшествующий [57] в области нормирования шума СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [59], предписывают брать поправку  $\Delta=-5$  дБА для того же характера шума. Вывод о наличии опечатки именно в [57] обусловлен наличием большой базы исследований [60-63], подтверждающих вредное влияние импульсного и тонального шума на организм человека.

Также при сравнении уровней звука и звукового давления в помещениях защищаемых объектов с нормативными значениями необходимо учитывать положение, предусмотренное п. 130 СанПиН 1.2.3684-21 [64], о том, что в период с 7.00 до 23.00 часов в жилых помещениях многоквартирных жилых домов, индивидуальных жилых домов, общежитий и центров временного размещения допускается превышение гигиенических нормативов уровней шума на 5 дБА.

### **1.3 Основные источники внешнего шума предприятий**

На крупных промышленных предприятиях можно встретить источники шума всех основных типов по происхождению:

- 1) механический;
- 2) аэродинамический;
- 3) гидродинамический;
- 4) электромагнитный.

Однако если рассматривать основную массу предприятий, можно однозначно заявить о превалировании первых двух групп, то есть источников механического и аэродинамического шума [18, 66-71].

Механический шум возникает в результате силового, часто ударного, взаимодействия между узлами и элементами машин и механизмов, взаимного перемещения друг относительно друга деталей, и все эти процессы приводят к возникновению колебаний. К такому типу происхождения звука можно отнести шум, возникающий в зубчатых и цепных передачах, редукторах, роторах, кулачковых механизмах, телах вращения, парах трения, подшипниках и других механизмах. Если рассматривать процессы возбуждения ударного характера, то можно наблюдать излучение не только в диапазоне собственных частот колебаний, но и в диапазонах вынужденных колебаний.

Интенсивность излучения и частотное распределение излучаемого шума преимущественно зависит от массы и скорости взаимодействующих объектов, модуля упругости и соответственно размеров деталей, так как с увеличением размера взаимодействующих объектов также будет увеличиваться площадь излучения.

Процесс формирования аэродинамического шума в ряде случаев более сложен чем формирование механического шума, и возникает вследствие происходящих в газах процессов к которым можно отнести процессы образования вихрей потока на его границах, колебания рабочей среды, возникающие при вращении лопаточных колес, возникновение отрывных течений с соответствующими пульсациями давления, истечение пара и газа под большим давлением, смешение потоков с разными скоростями, которые приводят к возникновению турбулентных шумов и иные процессы.

Исходя из анализа процессов шумообразования, к источникам аэродинамического шума можно отнести вентиляционные системы различного назначения, воздуходувки, компрессорные установки,

пневматические системы, системы впуска и выпуска двигателей внутреннего сгорания, арматуру систем транспортировки газа и воздухопроводы [68].

Электромагнитный шум возникает за счет воздействия электромагнитных сил на различные элементы оборудования и возникновения в них вибрации и излучений в слышимом диапазоне частот. Физика процесса появления электромагнитного шума заключается в том, что вибрация и последующее излучение звука возникают из-за двух ключевых явлений: магнитострикции (микроскопическое изменение размеров сердечника при намагничивании) и сил Максвелла (притяжение между намагниченными поверхностями). Возникновение шума обусловлено пульсациями магнитного потока с частотой, кратной частоте сети 50 Гц и её гармоникам, что как раз попадает в слышимый диапазон, например, основное гудение — 100 Гц.

Основные источники шума электромагнитного происхождения — это силовые трансформаторы и электродвигатели, то есть взаимодействие в паре ротор-статор, также к таким источникам можно отнести индукционные печи и преобразователи частоты. Особенностью индукционных печей и преобразователей частоты является работа на высоких токах и частотах, что приводит к интенсивным переменным магнитным полям и, как следствие, к сильным вибрациям корпусов и креплений. Возникновение шума здесь часто обусловлено не только магнитострикцией, но и электродинамическими силами от токов в шинах и катушках, что создает характерный высокочастотный гул.

#### **1.4 Методы расчета внешнего шума промышленного предприятия**

Как уже было сказано выше, расчет шума от промышленного предприятия производится путем расчета распространения шума от каждого его источника в отдельности по методике ГОСТ 31295.2-2005 [34], которая соответствует международной методике расчета ИСО 9613-2:1996 [35].

Данная методика позволяет проводить расчеты для точечных источников шума или совокупности точечных источников шума. При расчетах учитывается геометрическая дивергенция, поглощение звука атмосферой, влияние земли, отражение звука от поверхностей и экранирование препятствиями.

Протяженные источники шума, такие как транспортные потоки (авто и железнодорожный транспорт), конвейеры, движущийся транспорт и прочие должны быть представлены совокупностью точечных источников шума (частей, секций и т.д.), каждый из которых имеет известные звуковую мощность и показатель направленности. Затухание, рассчитанное для звука из репрезентативной точки единичного источника шума, считается затуханием звука единичного источника. Линейные источники могут быть разделены на отрезки, плоские (поверхностные) источники – на участки, и каждая из этих частей может быть заменена точечным источником, находящимся в центре части.

Группа точечных источников может быть заменена эквивалентным точечным источником, расположенным в центре группы, если:

а) источники приблизительно равноценны по излучению и расположены примерно на одной высоте над землей;

б) условия распространения звука от источников до приемника одинаковые;

с) расстояние  $d$  от эквивалентного точечного источника до приемника более удвоенного максимального размера  $H_{\max}$  в группе источников ( $d > H_{\max}$ ).

Если расстояние  $d > H_{\max}$  или условия распространения звука от точечных источников различны (например, вследствие экранирования некоторых из них), то группа точечных источников не может быть заменена эквивалентным источником шума.

Распространение шума от транспортных потоков, то есть преимущественно от линейных источников, может также быть рассчитано по ГОСТ 33325-2015 [37] и СП 276.1325800.2016 [36].

Так методика расчета распространения шума представленная ГОСТ 33325-2015 [37] предусматривает расчет шума в расчетной точке, изучаемого железнодорожным транспортом, который представлен пассажирскими и грузовыми поездами, моторвагонным, скоростным и высокоскоростным подвижными составами.

Расчет шума от железнодорожного транспорта выполняется в 2 основных этапа:

- 1) расчет шумовых характеристик потока железнодорожного транспорта;
- 2) расчет распространения шума от линии железной дороги, с рассчитанными шумовыми характеристиками, до расчетной точки, расположенной на территории защищаемого объекта.

Первый этап по определению шумовых характеристик потока железнодорожного транспорта, включает в себя расчет эквивалентного и максимального уровней звука, а также эквивалентных уровней звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц. Все параметры рассчитываются для точки, расположенной на расстоянии 25 метров от оси ближнего магистрального железнодорожного пути.

Расчет эквивалентных уровней звука от поездов различных типов производится по эмпирическим формулам, полученным по расчетам линейной регрессии для результатов измерений шума поездов различных длин и двигавшихся на разных скоростях, так как основной вклад, при прочих равных, в формирование шума от поездов оказывают именно эти два параметра – длина поезда и скорость его движения [73-77]. Также дополнительно вводятся коррекции на тип пути  $\Delta L_{\text{п}}$  (может принимать

значения от минус 2 до +3 дБА), на радиус криволинейных участков пути  $\Delta L_{кр}$  (от 0 до 8 дБА), и для случаев прохождения участка железной дороги по мосту – коррекцию на тип моста  $\Delta L_{мост}$  (от 0 до 10 дБА). Также допускается уменьшение эквивалентного уровня звука на 3 дБА, для высокоскоростных поездов, движущихся на скорости от 0 до 250 км/ч включительно, если рассматриваемые поезда классифицируются как малошумные.

После расчета эквивалентных уровней звука для отдельных категорий поездов на рассматриваемом участке, выполняется расчет часовых эквивалентных уровней звука потока поездов каждой из категорий, прошедших по рассматриваемому участку пути в течении  $i$ -го часа, а затем и расчет часового эквивалентного уровня звука для всех типов поездов.

Последним этапом расчета эквивалентного уровня звука потока поездов является расчет уровня за период оценки. На территории РФ, выделяют два периода оценки: с 7.00 до 23.00, продолжительностью 16 часов – дневное время суток, и с 23.00 до 7.00, продолжительность 8 часов – ночное время суток. Дополнительно предусматривается возможность выделения и оценки отдельно вечернего периода, однако такой подход не соответствует текущим требованиям санитарных норм.

Расчет максимального уровня звука, создаваемого потоком железнодорожного транспорта по методике ГОСТ 33325-2015 [37], производится схожим с расчетом эквивалентного уровня звука потока поездов образом, но с некоторыми отличиями и предусматривает:

- 1) расчет по формулам максимальных уровней звука, создаваемых различными типами поездов, зависящих исключительно от скорости движения поездов на рассматриваемом участке;
- 2) расчет максимального уровня звука для поездов отдельных категорий, который представляет собой средний максимальный уровень звука за период оценки;

3) расчет максимального уровня звука для поездов всех типов, представленных на участке за период оценки, за который принимают наибольший из средних максимальных уровней звука потока поездов разных категорий, прошедших на рассматриваемом участке за период контроля.

Расчет эквивалентных уровней звукового давления производится путем сложения соответствующего эквивалентного уровня звука для отдельной категории поездов на рассматриваемом участке со значением относительного спектра приведенного в таблице 5 ГОСТ 33325-2015 [37].

При расчете распространения шума от транспортных потоков железнодорожного транспорта расчетные точки выбираются в соответствии с требованиями методик ГОСТ 23337-2014 [78] и ГОСТ 31296.2-2005 [38], то есть на территории защищаемых объектов, например, в 2 метрах от ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, на границе санитарно-защитной зоны или на границе площадок отдыха. Оцениваемым параметром является значение уровня звука и уровня звукового давления в расчетной точке с учетом расширенной неопределенности измерений для коэффициента охвата  $k=1$ , что обеспечивает уровень доверия 84% для одностороннего интервала охвата.

Расчет значения эквивалентного уровня звука в расчетной точке выполняется путем вычитания из шумовой характеристики потока железнодорожного транспорта величин снижения шума от различных факторов. Рассматриваются следующие факторы:

- 1) снижение звука из-за дивергенции, т.е. увеличения фронта звуковой волны;
- 2) поглощение звуковой энергии атмосферой;
- 3) поглощение звука поверхностью грунта;
- 4) эффект экранирования;
- 5) ограничение угла видимости;
- 6) влияние жилой застройки;

- 7) влияние зеленых насаждений;
- 8) влияние отражения звука от ограждающих конструкций зданий, расположенных вблизи расчетной точки.

Расчет снижения шума за счет дивергенции, а также влияние эффекта экранирования, в том числе насыпями и выемками, определяется в соответствии с положениями методики, а влияние остальных параметров определяется по методике ГОСТ 31295.2-2005 [34].

В соответствии с методикой ГОСТ 31295.2-2005 [34] расчет затухания звука за счет дивергенции выполняется от точечного источника (так как [34] предписывает аппроксимировать любой линейный источник как группу точечных), и единственным учитываемым в расчете параметром является расстояние от источника шума до расчетной точки. Методика, изложенная в ГОСТ 33325-2015 [37], предписывает рассчитывать величину  $A_{\text{див}}$  по формуле, разработанной для расчета шума именно от линейных источников и учитывающая такие параметры как длина источника (поезда), расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, высота источника и расчетной точки.

При расчете максимального уровня звука учитываются только снижение шума за счёт дивергенции, затухания в атмосфере, экранирования и снижение в зеленых насаждениях.

Методика расчета распространения шума, представленная в СП 276.1325800.2016 [36], описывает методы определения шумовых характеристик транспортных потоков, в том числе потоков автотранспорта, трамваев, троллейбусов, меторопоездов на открытых линиях и потоков железнодорожного транспорта, а также расчет распространения шума от транспортных потоков, в том числе в городской местности с характерными для неё особенностями.

СП 276.1325800.2016 [36] предоставляет расширенную по сравнению с ГОСТ 33325-2015 [37] методику расчета шумовой характеристики

железнодорожного транспорта, в том числе предоставляет возможность расчёта шумовой характеристики высокоскоростных поездов, движущихся на скорости свыше 250 км/ч и до 400 км/ч. Представленная методика дает возможность расчета эквивалентного и максимального уровней звука, а также эквивалентных уровней звукового давления потока высокоскоростных поездов. Методика расчета шумовой характеристики потока высокоскоростных поездов представляет собой расчет по эмпирической формуле, а итоговая величина параметра зависит от скорости движения поезда, длины поезда и времени прохождения поезда мимо точки наблюдения.

Шумовая характеристика потоков автомобильного транспорта согласно действующим нормативно-методическим документам характеризуется такими параметрами как эквивалентный и максимальный уровни звука на расстоянии 7,5 м от оси ближайшей к точке наблюдений полосы движения и на высоте 1,5 м от уровня дорожного полотна. Эквивалентные уровни звука определяется следующим образом:

1) На этапе разработки генпланов населенных пунктов и иных объектах, где в качестве исходных данных имеются лишь сведения о категории дороги или улицы – шумовая характеристика выбирается по табличным значениям исходя из категории дороги и числа полос движения;

2) На этапе разработки генпланов населенных пунктов, при наличии определенных размеров движения, состава транспортных потоков, но при отсутствии сведений о характеристиках проезжей части, таких как уклон, тип покрытия и пр. – шумовая характеристика рассчитывается по формуле и зависит от прогнозируемой интенсивности движения, ед./ч, скорости движения, км/ч и доли грузовых автомобилей и общественных транспортных средств в потоке, %;

3) На этапе детальной планировки района, при наличии всех необходимых исходных данных – расчет эквивалентного уровня звука осуществляется путем суммирования эталонного значения шумовой

характеристики, зависящего от интенсивности движения, с корректирующими поправками, учитывающими отклонение фактического потока автотранспорта от эталонного по таким параметрам как: доля грузового транспорта, скорость движения потока, влияние продольного уклона дороги, тип покрытия дорожного полотна, ширина разделительной полосы и влияние светофорного цикла на участках пересечения дорог.

Максимальный уровень звука потока автомобильного транспорта рассчитывается исходя из сочетания скорости движения потока и доли грузового транспорта в потоке.

При необходимости, методика предусматривает возможность определения эквивалентного уровня звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 63 до 8000 Гц. Данные уровни определяются путем сложения величины рассчитанного эквивалентного уровня звука с относительной частотной характеристикой шума транспортного потока.

Расчет уровней звука и уровней звукового давления в расчетных точках определяется, аналогично ГОСТ 33325-2015 [37], но расчет распространения шума выполняется не только от линий железной дороги, но и от автотранспортных потоков. Единственным значимым отличием [36] от [37] является учет влияния турбулентности атмосферы и ветра на распространение шума, учет этой поправки осуществляется только для расстояний свыше 200 метров от автомобильной дороги и свыше 1000 метров от железной дороги.

Расчет снижения шума от транспортных потоков за счет дивергенции, учитывает такие параметры как длина источника, в качестве которой при расчете распространения шума от железной дороги выступает средняя длина поездов на участке, а при расчете шума от автотранспорта длина рассматриваемого участка автодороги, и расстояние от источника до расчетной точки, то есть все источники шума, в отличие от методики ГОСТ 31295.2 [34], рассматриваются в качестве линейных.

Шумовые характеристики таких источников шума как окна, двери и стены определяются в соответствии с СП 254.1325800.2016 [79]. Данный метод заключается в применении формулы для расчета шума проникающего из внешней среды в помещение, которая учитывает уровни звукового давления в 2 метрах от ограждающей конструкции, площадь ограждающей конструкции, звукоизоляцию ограждающей конструкции и свойства помещения.

Отдельно рассмотрим стандартные методы оценки шума в Европе CNOSSOS-EU [80] применяемые для реализации Директивы Европейского союза 2002/49/ЕС [81]. Данный документ разработан в рамках гармонизации применяемых национальных иных стандартов по расчетным методам на территории союза и является обязательным к применению во всех странах Европейского союза принявших Директиву. Документ предусматривает набор методик расчета распространения шума от автомобильного и железнодорожного транспорта, промышленных объектов, а также воздушного транспорта (при выполнении наземных операций, исключая взлет и посадку) для целей определения взвешенных (корректированных) по А уровней звукового давления для стратегических карт шума агломераций.

Представленный метод CNOSSOS-EU [80] основан на разбиении излучателей шума на точечные источники шума, расположенные отдельно, по линии имитирующей расположение линейного источника шума или распределенные по площади. К особенностям и отличительным чертам метода можно отнести учет метеорологических параметров на местности и их влияние на распространение шума, метод рассматривается 2 варианта распространения шума на местности: для благоприятных условий распространения шума от источника к приемнику и для однородных условий, то есть без значимого влияния атмосферных условий. После выполнения 2 вариантов расчета через учет долей продолжительности благоприятных и

однородных условий на рассматриваемом участке местности и определяется итоговое значение величины уровней шума на территории.

Заявленная точность метода, представленного в CNOSSOS-EU [80] равная  $\pm 2$  дБА видится достижимой, однако требует учета огромного количества данных, в том числе анализа накопленных за длительные промежутки времени данных, получение которых возможно исключительно при создании масштабной (уровня регионов, государств и межгосударственный) системы сбора, анализа и хранения больших массивов информации.

Исходя из представленного анализа существующих методик расчета и в том числе пригодности их применения для расчета шума от промышленных предприятий можно сделать вывод что применяемые в отечественной и зарубежной практике методики расчета распространения шума обладают рядом существенных недостатков:

- 1) пренебрежение плоскими источниками шума, что не позволяет корректно учесть дивергенцию в области плоской и квазиплоской звуковой волны;
- 2) высокие требования к детализации расчетной модели ввиду необходимости расчета от множества точечных источников шума;
- 3) необходимость применения для расчётов сложного специализированного программного обеспечения;
- 4) отсутствие возможности проведения оперативных расчетов и расчетов для типовых объектов без полного перестроения модели.

Описанные недостатки существующих методов подтверждают потребность разработки новых обладающих лучшими характеристиками методов расчета распространения шума от промышленных предприятий.

## 1.5 Описание объекта исследования

В качестве объекта исследования выступают промышленные предприятия с множественными источниками шума.

Рассмотрим источники промышленного шума на примере предприятия ООО «БЕЛАГРОТЕРМИНАЛ» находящееся в Республике Беларусь Гродненской обл. г. Сморгонь. Предприятие занимается переработкой сои и рапса. Основными источниками шума на данном предприятии являются: вентиляционное оборудование, трубопроводы из здания, оконные проемы, движение грузового и железнодорожного транспорта, конвейеры, шум различного оборудования (компрессорная станция, газовая котельная). Аналогичные источники шума присущи большинству других промышленных предприятий [69-71].

Как было отмечено выше, промышленные предприятия представляют собой совокупность большого количества источников шума. Несмотря на то, что используемое оборудование зависит от специфики предприятия можно выделить группы источников шума, характерных для любых промышленных объектов.

Самой многочисленной группой источников шума является вентиляционное оборудование. К данной группе можно отнести крышные вентиляторы, вентиляционные решетки на фасадах зданий, трубопроводы в составе вентиляционных систем. Шум таких источников в первую очередь носит аэродинамический характер, он образуется за счет возникновения вихрей и неоднородностей потока у его границ (что характерно для вентиляторов), возникновения отрывных течений, которые приводят к пульсации давления в воздуховодах. По спектральному составу шум вентиляционного оборудования является в основном низкочастотным. Еще одной характерной чертой данной группы источников является расположение на возвышении относительно уровня земли, это либо расположение

непосредственно на кровле, либо на стенах зданий, обычно не ниже высоты первого этажа (3 метра) [2, 84].

Ко второй группе источников шума можно отнести дымоходы. Как и в случае с вентиляционным оборудованием, характер шума дымоходов аэродинамический, он создается струей в результате крупно- и мелкомасштабного турбулентного перемешивания частиц газа со скоростью, близкой к скорости истечения, с частицами окружающего газа. Таким образом, источником шума можно считать срез трубы, который может достигать достаточно большой высоты от уровня земли (свыше 20 метров). По своей форме такой источник является точечным, излучает звук он, как правило, в пространство (пространственный угол излучения  $4\pi$ ). По спектральному составу шум труб является в основном низкочастотным. [2, 85, 86]

Далее следует выделить в отдельную группу источников шума строительную, погрузочную, и прочую колесную технику, которая передвигается по территории предприятия. Отдельные единицы техники могут передвигаться хаотично по всей территории предприятия, могут быть сгруппированы на небольшой площадке или же иметь постоянные маршруты следования. Основным источником шума в данной группе является двигатель машины, также присутствует, но в меньшей степени, шум выпуска, трансмиссии, вентилятора системы охлаждения и шум шин [2]. Данные источники шума могут быть представлены как точечные, в случае если они движутся хаотично или долго стоят на одном месте, в таком случае необходимо определить их положение на площадке, при котором будет проводится расчет. Для расчета наихудшего варианта такие источники шума следует располагать как можно ближе к границе предприятия и нормируемым объектам. Второй вариант учета данных источников шума – учет линейного источника. Это возможно если маршрут следования техники постоянный и можно определить количество перемещений каждой единицы техники за оцениваемый период. К данной группе не относятся такие источники шума

как, например, пересыпка материалов, их погрузка и разгрузка, данные процессы следует учитывать отдельно, как дополнительные источники шума, с определенной продолжительностью воздействия.

Менее значимый вклад в общий шум предприятия вносят производственные помещения. Источниками шума в данной группе являются оконные и дверные проемы, реже стены, здания через которые проникает шум оборудования, расположенного внутри. Данная группа источников может быть достаточно разнообразной так как в зависимости от оборудования, расположенного внутри помещения шум может иметь различные характеристики, как звуковой мощности, так и спектрального состава, и времени воздействия. Важную роль здесь также играет звукоизоляция ограждающих конструкции. Наименьшую звукоизоляцию, как правило, имеют окна, иногда они бывают открыты в целях проветривания, в таком случае шум из производственного помещения беспрепятственно попадает на территорию и может принимать достаточно высокие значения. Второй слабый элемент конструкции – двери, звукоизоляция которых, как правило выше чем у окон, но ниже, чем у стен. Двери также, как и окна, могут быть открыты, поэтому важно проводить обследование территории предприятия на предмет обнаружения подобных условий работы. Шумом, проникающим через стены, обычно можно пренебречь в расчетах, так как он мал в сравнении с шумом, проникающим через окна и двери, а также шумом наружных источников. Источники шума данной группы можно рассматривать как площадные источники, либо как точечные в зависимости от их линейных размеров и расстояния до расчетной точки.

В отдельную группу также можно выделить автотранспорт и железнодорожный транспорт. Шумовая характеристика данных источников шума в первую очередь зависит от интенсивности движения транспорта и количества грузового транспорта в составе потока. Она может быть определена путем проведения расчетов в соответствии с СП 276.1325800.2016

[36], ОДМ 218.2.013-2011 [82] и ГОСТ 33325-2015 [37]. Также для определения шумовых характеристик транспортных потоков часто применяются измерительные методы, наиболее применяемый метод для этих задач ГОСТ 20444-2014 [83]. Потоки транспорта являются линейными источниками шума.

Следующая группа источников шума имеется не на всех предприятиях, и тем не менее встречается довольно часто, к ней относятся конвейеры. Шум конвейера является механическим и образуется путем соударения его движущихся частей, в том числе привода, а также электродвигателем. Если шум создается роликами на всем протяжении конвейерной ленты, то такой источник шума является линейным, если шум создается редуктором, передачей, приводным барабаном, то источник шума будет точечным. Высота конвейеров может быть различной, они могут проходить на уровне земли, а могут быть расположены на высоте, в редких случаях встречаются конвейерные системы, пролегающие под землей, но обычно шум, создаваемый ими пренебрежительно мал и такие источники целесообразно исключать из расчета. Также конвейеры могут быть закрытые, в таком случае шум, возникающий при движении транспортной ленты значительно снижается. По спектральному составу шум конвейеров чаще всего бывает среднечастотным. [87]

Был выполнен расчет распространения шума рассматриваемого предприятия в программе «АРМ Акустика версия» 3.3.3 сборка 18 в соответствии с действующими на данный момент методиками, реализованными в составе программного обеспечения. В расчете было учтен 151 источник шума, среди которых:

- 1) выпуски и прочие элементы вентиляционных систем здания подготовительного корпуса и здания экстракции – 40 шт.;
- 2) электродвигатели и редукторы транспортеров – 10 шт.;

- 3) техпроцессы (пере сыпка зерна, работа погрузочной техники) – 2 шт.;
- 4) норийные башни и скребковые конвейеры – 48 шт.;
- 5) крышные вентиляторы на силосных башнях – 24 шт.;
- 6) линии движения грузовой техники по территории предприятия – 6 шт.;
- 7) железнодорожная линия на территории предприятия – 1 шт.;
- 8) окна котельной станции – 10 шт.

Методика выполнения измерений для определения шумовых характеристик оборудования и измерений на территории нормируемых объектов, а также измеренные шумовые характеристик оборудования на территории объекта исследования представлены в главе 2 настоящего исследования.

Шумовые характеристики от движения по территории предприятия грузовой техники и железнодорожного транспорта не измерялись, а рассчитывались по методикам [36,37] исходя из заявленной интенсивности и скорости движения транспортных средств по территории предприятия.

Ввиду идентичности конструкции и выполняемого технологического процесса, для норийных башен, скребковых конвейеров и крышных вентиляторов силосных башен шумовые характеристики измерялись только для отдельных единиц оборудования, усреднялись и затем интерполировались на все остальные изделия.

На рисунке 1.4.1 показана модель предприятия, выполненная в программе АРМ «Акустика» версия 3.

В результате расчета были получены значения уровней звукового давления в расчетных точках на территории предприятия и на границе СЗЗ. Данные значения можно сравнить с результатами экспериментальных замеров, проведенных в аналогичных точках. Результаты измерений и

расчетов уровней звукового давления в расчетных точках на границе СЗЗ представлены в таблице 1.4.1.



Рисунок 1.4.1 – Модель объекта в программном комплексе

Таблица 1.4.1. Сравнение результатов расчета и измерений уровней звукового давления в расчетных точках на границе СЗЗ

Контрольная точка	Значение	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
КТ-1	Измерение	57	59	55	46	46	47	40	31	20
	Расчет	63	64	56	52	50	44	36	26	27
	Сходимость	-6	-5	-2	-6	-4	3	4	5	-7
КТ-2	Измерение	58	58	54	45	43	43	37	26	0
	Расчет	66	64	59	47	47	44	36	26	25
	Разница	-8	-6	-6	-3	-4	-1	1	0	-25
КТ-3	Измерение	54	54	48	41	40	39	32	22	0
	Расчет	65	62	53	47	46	41	34	29	27
	Разница	-11	-8	-5	-6	-6	-2	-2	-7	-27
КТ-4	Измерение	51	51	44	38	37	35	26	9	0
	Расчет	61	50	45	41	41	37	29	24	26
	Разница	-10	1	-1	-3	-4	-2	-3	-15	-26
КТ-5	Измерение	48	49	42	35	35	35	23	0	0
	Расчет	61	59	50	42	40	36	28	24	26

Контрольная точка	Значение	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Разница	-13	-10	-8	-7	-5	-1	-5	-24	-26
КТ-6	Измерение	47	48	41	35	33	33	21	0	0
	Расчет	55	56	46	40	37	33	25	24	27
	Разница	-8	-8	-5	-5	-4	0	-4	-24	-27
КТ-7	Измерение	51	51	49	46	48	43	33	21	0
	Расчет	62	62	51	47	47	42	35	25	26
	Разница	-11	-11	-2	-1	1	1	-2	-4	-26
КТ-8	Измерение	48	48	42	36	36	36	24	0	0
	Расчет	67	59	48	36	41	38	25	24	27
	Разница	-19	-11	-6	0	-5	-3	-1	-24	-27
КТ-9	Измерение	53	53	49	41	39	42	33	13	0
	Расчет	59	57	51	42	41	37	30	27	27
	Разница	-6	-4	-2	-1	-2	5	3	-14	-27
КТ-10	Измерение	51	51	45	37	37	37	28	0	0
	Расчет	60	59	56	47	44	42	31	25	27
	Разница	-9	-8	-11	-10	-8	-5	-3	-25	-27

Как следует из таблицы наиболее значимыми являются частоты 500 Гц и 1000 Гц. На рисунках 1.4.2 и 1.4.3 представлены графики, на которых показано сравнение уровней звукового давления на частотах 500 Гц и 1000 Гц, полученных экспериментально и при помощи расчетов.

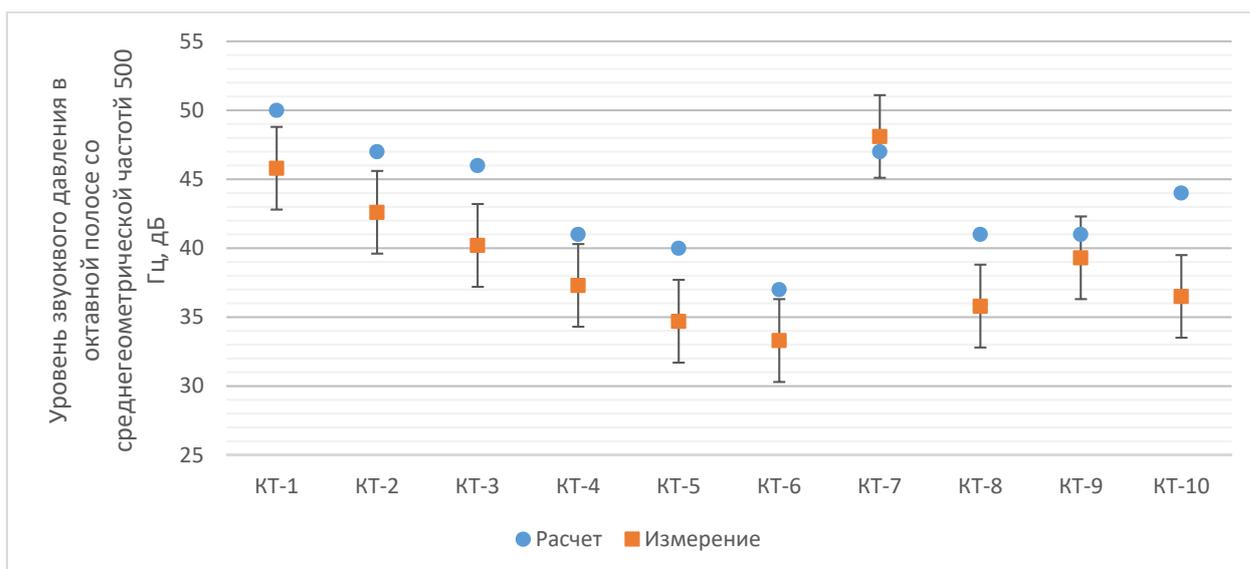


Рисунок 1.4.2 – Сравнение расчетных и измеренных значений уровней звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц

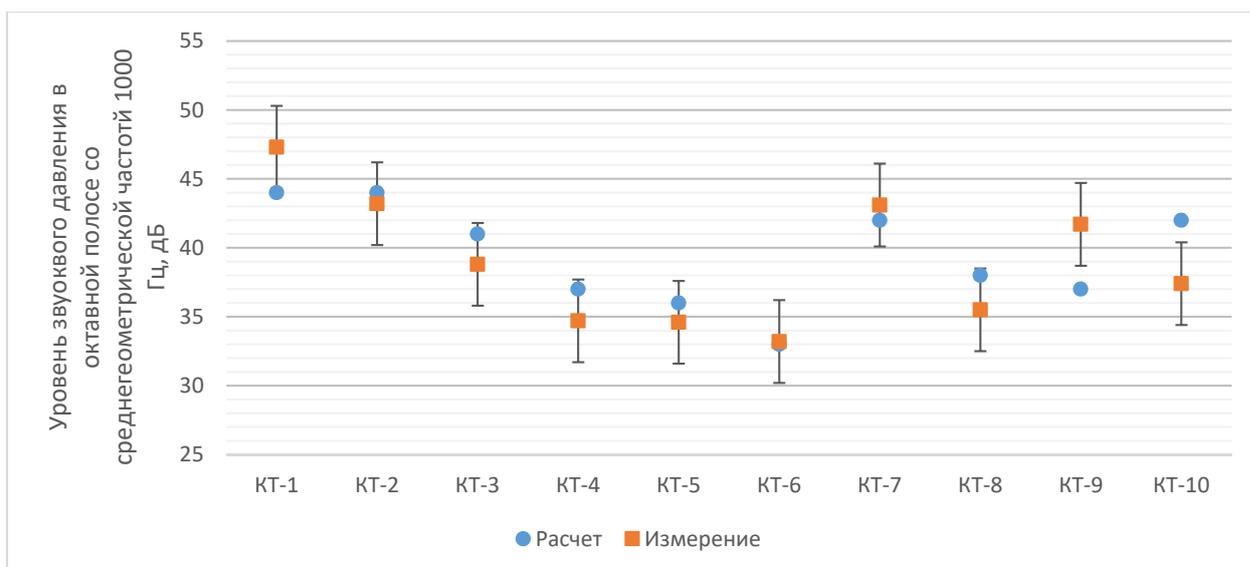


Рисунок 1.4.3 – Сравнение расчетных и измеренных значений уровней звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц

Далее после анализа сходимости результатов измерений по уровням звукового давления в октавных полосах частот, выполним оценку сходимости по уровням звука в дневное и ночное время. Результаты оценки приведены в таблице 1.4.2.

Таблица 1.4.2. Сравнение результатов расчетов и измерения по уровню звука

№ТИ	Наименование	Лэкв., дБА в дневное время суток	Лэкв., дБА в ночное время суток
КТ-1	Измерения	50	49
	Расчет	50	49
	Разница	0	0
КТ-2	Измерения	49	52
	Расчет	47	47
	Разница	2	5
КТ-3	Измерения	47	48
	Расчет	43	42
	Разница	4	6
КТ-4	Измерения	42	38
	Расчет	39	38

№ТИ	Наименование	Лэкв., дБА в дневное время суток	Лэкв., дБА в ночное время суток
	Разница	3	0
КТ-5	Измерения	42	42
	Расчет	37	37
	Разница	5	5
КТ-6	Измерения	39	41
	Расчет	36	36
	Разница	3	5
КТ-7	Измерения	48	42
	Расчет	48	47
	Разница	0	-5
КТ-8	Измерения	42	39
	Расчет	38	38
	Разница	4	1
КТ-9	Измерения	43	45
	Расчет	44	44
	Разница	-1	1
КТ-10	Измерения	46	47
	Расчет	40	40
	Разница	6	7

Из полученных результатов следует, что разброс значений результатов эксперимента и расчета составляет до 7 дБА по уровню звука и превышает 3 дБА, т.е. неопределенность, установленную согласно ГОСТ 31295.2 [34], что говорит о неудовлетворительной сходимости. Такое расхождение в отдаленных от предприятия точках измерений, таких как КТ-10, объясняется не только отсутствием возможности достоверно учесть все фоновые источники шума и отследить изменения шумовых характеристик оборудования, большая часть которого работает в полностью

автоматизированном режиме, но и несовершенством самой расчетной методики измерений.

## **1.6 Пути, методы и средства снижения внешнего шума предприятий**

Все методы снижения шума можно разделить на две большие группы – снижение шума в источнике и на пути распространения. Для уменьшения акустического воздействия предприятия на окружающую среду используются обе группы методов в зависимости от источников шума [89].

К методам снижения шума на пути распространения относятся в первую очередь шумозащитные экраны. Расчеты показывают, что они могут эффективно применяться для относительно низких (не более двух метров) источников шума. К таким источникам шума в первую очередь относятся автомобильный и железнодорожный транспорт. Для таких источников шума целесообразно устанавливать шумозащитные экраны в непосредственной близости от автодорожного полотна и железнодорожных путей, таким образом можно добиться их максимальной эффективности. Другой вариант установки шумозащитных экранов – по границе предприятия, таким образом он позволяет снизить также шум некоторых других источников, например, зданий или техники.

Эффективность шумозащитных экранов для защиты от транспортного шума достигает 8 – 20 дБА [90 – 99] и зависит от их геометрических параметров (длины и высоты), материала изготовления (в том числе наличия или отсутствия звукопоглощения), 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.

Для работающей на территории предприятия техники могут также применяться передвижные шумозащитные экраны, они могут располагаться в непосредственной близости от техники и иметь максимальную

эффективность, при перемещении техники на различные участки шумозащитные экраны можно также перемещать. Данный способ не подходит для случаев, когда места работы техники меняются часто или техника, хаотично перемещается по участку, на котором выполняются работы, в таком случае шумозащитный экран может быть установлен вокруг всей площадки, на которой работает техника.

Шумозащитные экраны могут также использоваться на кровлях зданий, на которых находятся источники шума, например, вентиляционные выходы или крышные вентиляторы.

Для снижения шума крышных вентиляторов применяются малозумные корпуса или кожухи [100]. Снижение шума при работе крышного вентилятора достигается за счет звукопоглощения облицовкой, расположенной на корпусных деталях вентилятора. В качестве облицовки может быть использована минеральная вата с удельной плотностью не более 40 кг/м<sup>3</sup> и толщиной не менее 50 мм. Эффективность малозумной конструкции вентилятора достигает 15 дБА. Если малозумное исполнение вентиляторов невозможно, для снижения шума могут быть разработаны шумозащитные кожухи, полностью закрывающие внешнюю часть вентилятора.

Шумозащитный кожух представляет собой комбинацию из следующих элементов: ограждающие поверхности (стенки) из шумозащитных панелей, представляющие собой звукоизоляционную конструкцию с звукопоглощающим материалом внутри и перфорированной стенкой (со стороны источника шума); акустические звукопоглощающие решетки для обеспечения необходимого воздухообмена, расположенные на пути воздушного потока вентиляторов, т.е. на пути излучения основной акустической энергии от вентиляционного оборудования. Проемы из акустических решеток в конструкции размещаются с противоположной стороны от защищаемых объектов [101-104].

Звукопоглощающие акустические решетки состоят из несущего корпуса и поперечных жалюзи, выполненных из оцинкованной листовой стали. Жалюзи расположены в корпусе с наклоном под углом  $45^\circ$ , наполнены звукопоглощающим материалом и на нижней стороне покрыты оцинкованными перфорированными панелями. Эффективность капота достигает 17 дБА, а шумозащитных решеток 12 дБА [105].

Для снижения шума вентиляционных выходов широко применяются глушители шума [106-115]. Подбор глушителей шума производится в зависимости от необходимой эффективности глушителя, диаметра воздуховода, габаритных возможностей в месте установки и аэродинамических характеристик. Основным недостатком глушителей шума — это возникновение аэродинамического сопротивления в канале, что может привести к снижению эффективности работы оборудования и одной из основных задач при подборе глушителя шума является достижение необходимой величины снижения шума при минимальном аэродинамическом сопротивлении [106-109]. Также в современной практике часто возникают сложности при выполнении монтажа глушителей шума, обеспечивающих высокую эффективность, например, глушители шума для систем сброса пара на энергетических объектах, в таких случаях применяются глушители шума имеющие модульную конструкцию [110-112]. Для снижения шума вытяжных вентиляционных систем, аспирационных систем, в том числе систем сброса пара, на кровле и фасадах цехов, а также для снижения шума компрессорных установок рекомендуется использовать диссипативные глушители шума различных вариантов конструктивного исполнения, таких как трубчатые и пластинчатые. Корпус шумоглушителей изготавливается из оцинкованной стали, внутри корпуса находится слой звукопоглощающего материала из минерального волокна. В одном вентиляционном канале может быть установлено несколько глушителей шума, например, для снижения шума в разных частотных диапазонах, при этом, расстояние между глушителями

должно быть не меньше 4 – 5 диаметров воздуховода [115]. Также следует учитывать собственный шум глушителя.

Для снижения низко- и среднечастотного шума дымовых труб используются камерные глушители, представляющие собой замкнутый объем, внутренняя поверхность которого облицована звукопоглощающим материалом [116].

Снижение шума здания как источника возможно благодаря увеличению звукоизоляции ограждающих конструкций. Основными источниками шума зданий являются окна и двери. Одной из причин высоких уровней шума от зданий на многих производствах является открытые окна для естественной вентиляции помещений. Если такая проблема существует, следует обеспечить другие способы проветривания, например, установку пассивных или активных клапанов проветривания, что позволит обеспечивать необходимый воздухообмен в помещениях без необходимости открывать окна и форточки. Далее следует увеличить звукоизоляцию окна, она должна быть выбрана исходя из требуемого снижения шума, при этом значение звукоизоляции выбирается с запасом. Дверные проемы в производственных помещениях также должны быть закрыты, и, при необходимости, двери должны быть заменены на двери с более высокой звукоизоляцией. Снижения шума оборудования внутри производственных помещений также позволит снизить излучаемый наружу шум. Шум оборудования можно снижать в источнике (своевременное техобслуживание, смазка соударяющихся элементов конструкций, вибродемпфирование, балансировка вращающихся элементов), путем применения шумозащитных кожухов, путем ограничения времени работы оборудования (если это не влияет на технологический процесс), путем увеличения площади звукопоглощения в помещении (применение звукопоглощающих плит) [108, 117, 118].

Методы снижения шума конвейеров зависят от их основного источника шума, как было сказано выше, шум конвейера может образовываться

электродвигателем, а может роликами на протяжении всей конвейерной ленты. Если необходимо снизить шум двигателя, в качестве шумозащитного мероприятия можно использовать кожух со звукопоглощающей облицовкой. Метод снижения шума конвейерной линии зависит от ее типа, если линия открыта со всех сторон, следует установить вдоль линии стенки, которые будут экранировать шум. Если данного метода недостаточно и стенки обладают недостаточной звукоизоляцией, может применяться нанесение на них звукопоглощающей облицовки. Следует учитывать тот факт, что облицовка должна подходить для наружного применения, в том числе для низких температур, а также не требовать дополнительного технического обслуживания. При высоких уровнях шума, можно также закрыть конвейерную линию не только с боков, но и сверху, если технологический процесс допускает подобное решение [119-121].

Первым этапом разработки шумозащитных мероприятий является оценка распространения шума на территории жилой застройки, для этого широко применяются программные расчеты с построением карт шума. Сложность такого расчета заключается в том, что на больших предприятиях, может присутствовать от 100 до 300 источников шума, а в некоторых случаях и больше. Информацию по источникам получают в основном посредством инвентаризации и проведения натурных измерений. При этом для получения достоверных результатов требуется выполнять измерения каждого источника в отдельности, что не всегда представляется возможным в рамках режима работы предприятия. Далее полученную программную модель предприятия калибруют в соответствии с результатами измерения шума на территории. Описанный процесс является крайне трудоемким и требует высокой квалификации специалиста, проводящего расчеты. Аналогично происходит процесс на этапе проектирования или модернизации предприятия новые источники шума вносятся в модель для дальнейшей оценки изменения акустической ситуации на территории, однако в данном случае калибровка

расчетной модели не выполняется. Следующей задачей является выделение наиболее значимых источников шума и подбор шумозащитных мероприятий для снижения их воздействия.

Представление предприятия как единого источника шума позволит уменьшить трудозатраты на создание модели и повысить точность расчета. Для реализации данного подхода требуется провести оценку наиболее значимых источников шума предприятий и определить источники вклад которых пренебрежительно мал, а также провести оценку шумовых характеристик значимых источников. Зная основные источники шума промышленных предприятий можно подобрать типовые шумозащитные мероприятия для снижения их воздействия и таким образом рационализировать процесс снижения шума на предприятии в целом.

### **1.7 Основные задачи исследования**

Снижение шума от промышленных предприятий на прилегающих к нему территориях является актуальной проблемой как для существующих объектов, так и для проектируемых. Как показывают результаты анализа существующие методики расчета распространения шума от промышленных предприятий обладают рядом недостатков, в том числе ухудшение точности расчета с увеличением расстояния от источника шума до расчетной точки, высокая трудоемкость реализации методик измерений. Исследователи постоянно принимают попытки аппроксимировать множество точечных источников шума как линейные и плоские, и целесообразно предположить, что многочисленные точечные источники шума на предприятии можно заменить одним или несколькими плоскими, или линейными источниками шума тем самым значительно упростив выполнение расчетов.

Основными задачами исследования являются:

- выполнение теоретических исследований распространения шума промышленных предприятий;
- разработка методики экспериментальных исследований уровней звуковой мощности источников шума промышленного предприятия и распространения шума от промышленных предприятий;
- выполнение теоретических исследований для классификации источников шума предприятия по степени их значимости;
- разработка расчетных схем и расчетного метода для оценки распространения шума предприятия как от площадного источника шума;
- разработка рекомендаций по выбору шумозащитных мероприятий для различных источников шума предприятия;
- разработка рекомендаций по зонированию территорий вблизи промышленных предприятий;
- апробация на практике предложенных методик и подходов.

## **Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНЕШНЕГО ШУМА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Для проверки гипотезы, что промышленное предприятие можно рассматривать как единый плоский или линейный источник, или как группу таких источников, был проведен ряд экспериментов на производственных предприятиях. Эксперименты включали в себя четыре основных этапа:

1. Проведение инвентаризации источников шума на территории промышленного предприятия;
2. Измерение шумовых характеристик и определение линейных размеров источников шума;
3. Измерение уровней шума в точках измерений, расположенных на удалении от предприятия;
4. Измерение уровней шума в точках измерений, расположенных на жилебной территории и на границе СЗЗ.

Для оценки распространения шума от источников и исследования процессов шумообразования были разработаны методики натурных измерений как шумовых характеристик источников шума, так и шума в контрольных точках на пути распространения и вблизи защищаемых объектов на территории жилой застройки.

Измерения на всех этапах проведения эксперимента: при определении шумовых характеристик, при выполнении измерений на территории нормируемых объектов и при исследовании характера распространения шума от предприятия на прилегающие территории, выполнялись с помощью средств измерений, внесенных в государственный реестр и имевших действующие свидетельства о поверке. Для проведения измерений уровней звука и уровней звукового давления применялись измерительные системы на базе шумомеров-виброметров, анализаторов спектра ЭКОФИЗИКА-110А (номер в реестре СИ РФ: 48906-12) в различных модификациях и ОКТАВА-110А (номер в реестре СИ РФ: 32747-06), которые соответствуют 1 классу согласно ГОСТ Р 53188.1-2019 [125]. В составе

измерительных систем применялись предусилители Р200 и микрофонные капсули ВМК-205. Для проверки калибровки средств измерений применялся акустический калибратор АК-1000 (номер в реестре СИ РФ: 76039-19) 1-го класса согласно ГОСТ Р МЭК 60942-2009 [127].

Для контроля метеорологических условий при проведении измерений применялась измерительная система Метеоскоп-М (номер в реестре СИ РФ: 32014-11). Контроль высоты расположения микрофона над подстилающей поверхностью, а также расстояния от отражающих конструкций выполнялся с помощью рулетки измерительной Geobox РК2-8 (номер в реестре СИ РФ: 36016-07).

## **2.1 Методика измерений шумовых характеристик источников на территории предприятия**

Методика измерений шумовых характеристик источников шума разработана на основании положений и рекомендаций методических и руководящих документов, таких как МИ ПКФ-12-006 «Однократные прямые измерения уровней звука, звукового давления и вибрации приборами серий Октава и Экофизика» [122], ГОСТ ISO 3744-2024 «Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью» [123] и ГОСТ Р ИСО 3746-2013 «Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью» [124].

С точки зрения проведения расчетов и оценки распространения шума от источников наиболее показательным акустическим параметром являются уровни звуковой мощности в октавных или третьоктавных полосах частот, однако выполнение прямых измерений в натуральных условиях этих параметров сопряжено со сложностями, т.к. существующие методики предъявляют повышенные требования к испытательному пространству, фоновым уровням шума и количеству

измерений. Объем требования настолько существенный, что даже применение ориентировочных методов без отклонения от методики не представляется возможным.

Анализируя существующие подходы можно обратить внимание на хорошо зарекомендовавший себя подход по определению шумовых характеристик источников путем их пересчёта по известным формулам из уровней звукового давления в октавных или третьоктавных полосах частот, измеренных вблизи источника, с учетом его геометрических размеров и расстояния от источника шума до точки измерений. Данный подход не может дать результатов с высокой сходимостью в условиях, когда множество источников шума расположены близко друг к другу, но также и утвержденные ГОСТами методики её не обеспечивают ввиду невозможности соблюдения всех требований к условиям проведения измерений при выполнении измерений в натуральных условиях. Таким образом измерения уровней звуковой мощности в настоящей работе производились по методике в которой применялись методы построения измерительной поверхности и выбора точек измерений, реализованные в ГОСТ ISO 3744-2024 [123] и ГОСТ Р ИСО 3746-2013 [124], а все выполняемые измерения должны были удовлетворять положениям методики МИ ПКФ 12-006 [122].

Ввиду того, что в дальнейшем результаты измерений уровней звуковой мощности оборудования, в рамках данного исследования, применялись исключительно для оценки воздействия предприятия на нормируемые объекты и целесообразности оценки наихудшей ситуации, измерения для всех единиц оборудования на исследуемых предприятиях производились в периоды максимальной загруженности оборудования. Аварийные режимы работы оборудования не оценивались.

Для определения влияния условий окружающей среды на результаты измерений во время проведения измерений контролировались параметры окружающей среды: скорость движения воздуха, температура воздуха, относительная влажность воздуха и атмосферное давление. Все параметры

окружающей среды находились в пределах, установленных в технической документации на средства измерений. При скорости движения воздуха от 1 до 5 м/с для защиты микрофонного капсюля применялся ветрозащитный экран, рекомендованный производителем измерительного оборудования.

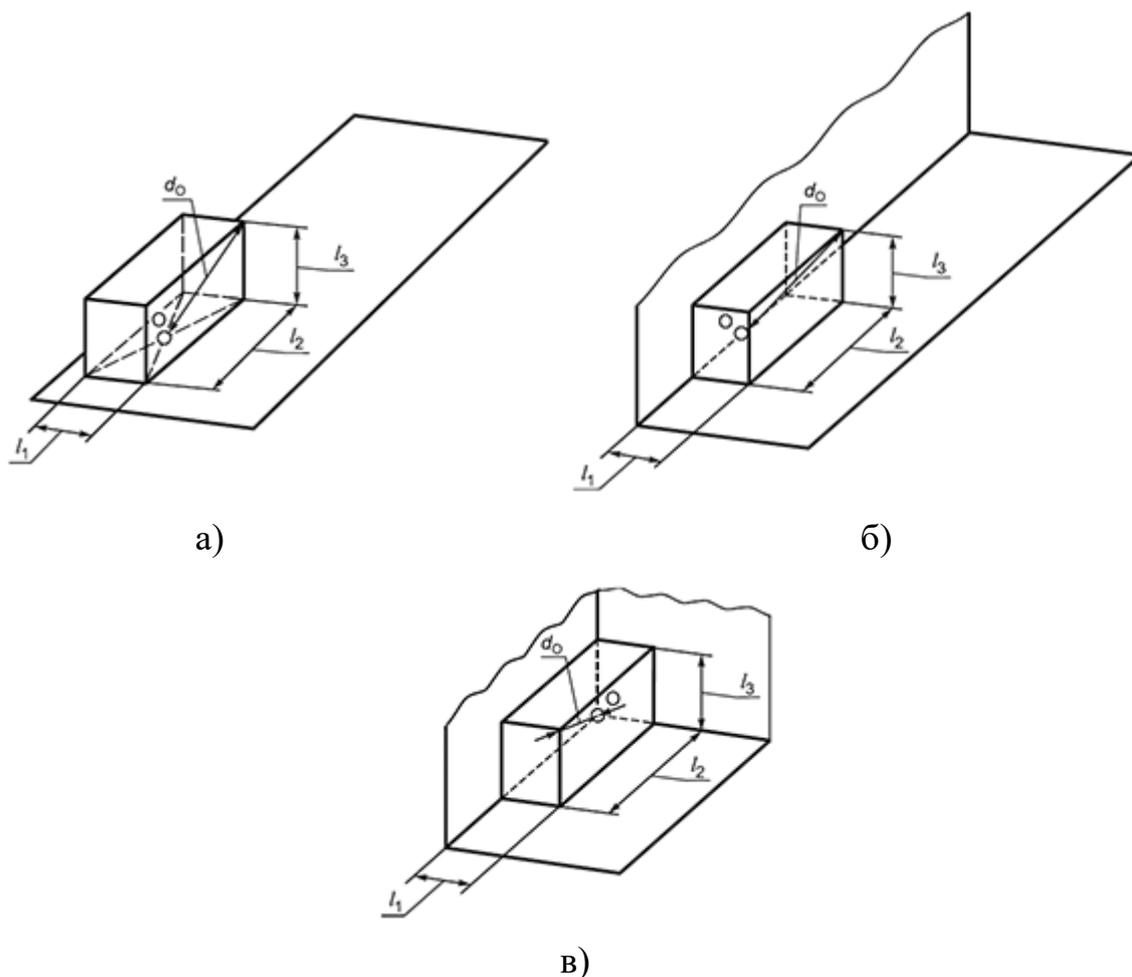
Измеряемыми параметрами являлись уровни и/или эквивалентные уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц, а определяемыми (рассчитываемыми) параметрами являлись уровни звуковой мощности в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц и эквивалентный скорректированный по А уровень звуковой мощности источника шума.

При проведении измерений, если условия проведения измерений позволяли, вокруг каждого источника звука строился огибающий параллелепипед, то есть воображаемая поверхность в виде прямоугольного параллелепипеда, который бы включал в себя весь источник, за исключением малозначимых неизлучающих звуковые волны элементов источника. Также для дальнейших вычислений исходя из линейных размеров огибающего параллелепипеда определялся характеристический размер  $d_0$ , м.

В зависимости от расположения источника шума относительно имеющихся на испытательной площадке отражающих поверхностей выделяются 3 возможных варианта:

- 1) с одной звукоотражающей поверхностью, то есть источник излучает звук в полусферическое пространство, а пространственный угол излучения  $\Omega=2\pi$ ;
- 2) с двумя звукоотражающими поверхностями, например, при измерении источника вблизи стены здания – источник излучает в четверть сферы, а пространственный угол излучения  $\Omega=\pi$ ;
- 3) с тремя звукоотражающими поверхностями, например, источник находится в углу здания – излучение происходит в 1/8 часть сферы, а пространственный угол излучения  $\Omega=\pi/2$ .

Расчетные схемы для определения характеристического размера  $d_0$  для разного количества звукоотражающих плоскостей приведены на рисунке 2.1.1.



$l_1, l_2, l_3$  – ширина, длина и высота огибающего параллелепипеда, м;  $O$  – начало координат

Рисунок 2.1.1 – Схемы для расчета характеристического размера источника шума для разного количества звукоотражающих плоскостей:

а) одна звукоотражающая плоскость; б) две звукоотражающие плоскости; в) три звукоотражающие плоскости

Расчет характеристического размера  $d_0$  для представленных схем осуществляется по формулам:

- Одна звукоотражающая плоскость

$$d_0 = \sqrt{(l_1/2)^2 + (l_2/2)^2 + l_3^2}, \text{ м} \quad (2.1)$$

- Две звукоотражающие плоскости

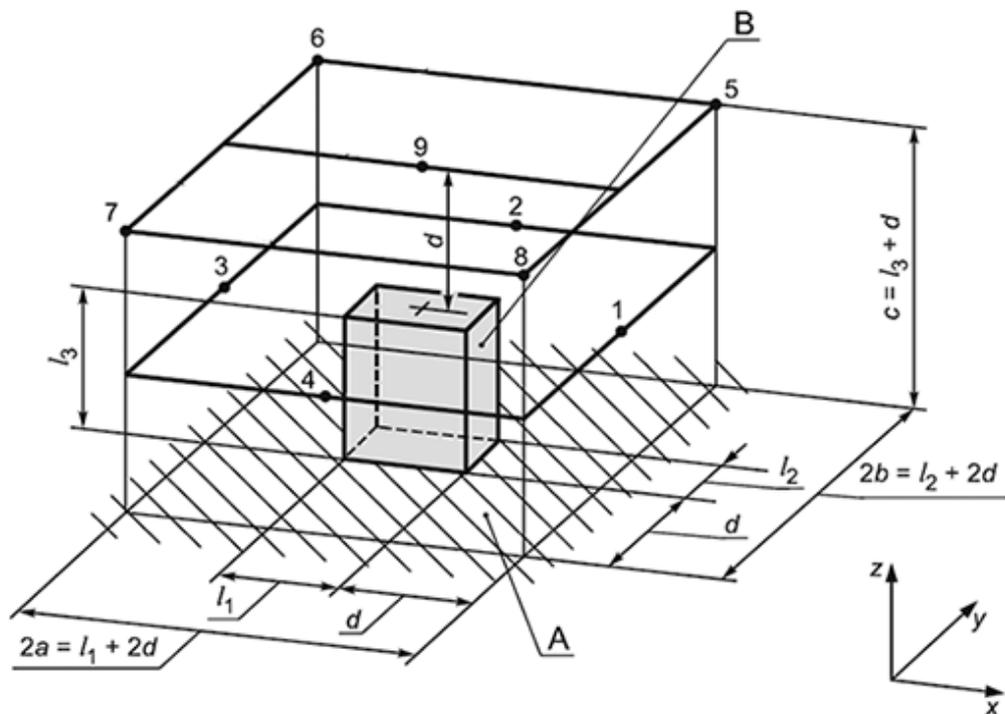
$$d_o = \sqrt{l_1^2 + (l_2/2)^2 + l_3^2}, \text{ м} \quad (2.2)$$

- Три звукоотражающие плоскости

$$d_o = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 + l_3^2}, \text{ м} \quad (2.3)$$

После построения огибающей поверхности, на измерительном расстоянии  $d$ , строится измерительная поверхность с площадью  $S$  в форме прямоугольного параллелепипеда, охватывающая огибающий параллелепипед и пересекающая все звукоотражающие плоскости, на которых лежат измерительные точки. Грани измерительного параллелепипеда выстраиваются параллельно граням огибающего параллелепипеда и соответственно отстают от него на расстояние  $d$ . Измерительное расстояние  $d$  при проведении экспериментальных измерений выбиралось исходя из габаритных размеров источника шума, информация о выбранном измерительном расстоянии фиксировалась в рабочем журнале измерений.

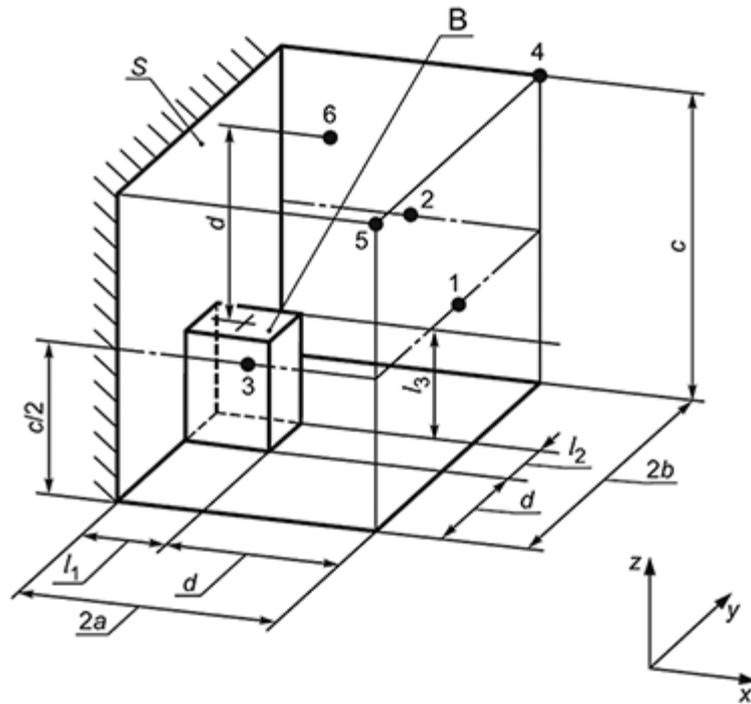
Схемы измерительных поверхностей с расположениями точек измерений для разного количества отражающих плоскостей представлены на рисунках 2.1.2 – 2.1.4.



- – точки измерений; А – звукоотражающая плоскость; В – огибающий параллелепипед; 2а – длина параллелепипеда измерительной поверхности, м; 2b –

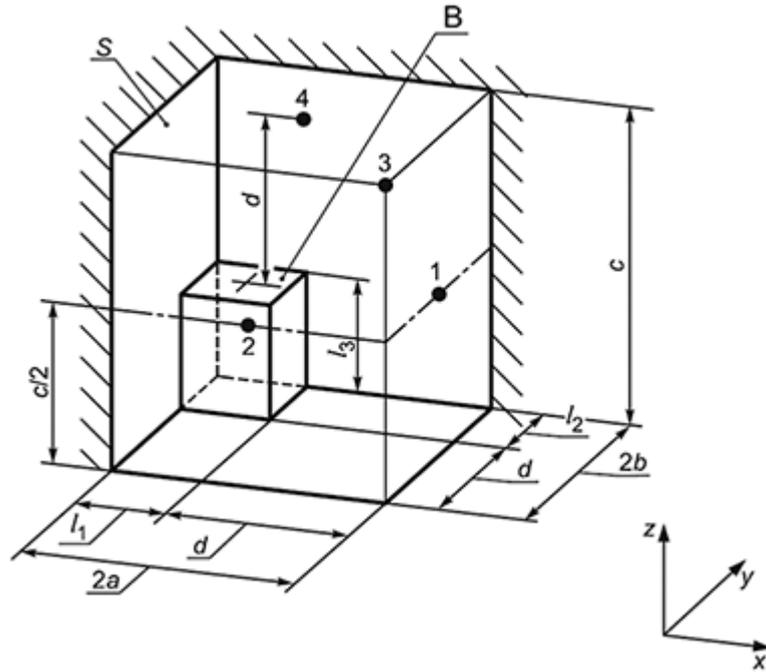
ширина параллелепипеда измерительной поверхности, м;  $c$  – высота параллелепипеда измерительной поверхности, м

Рисунок 2.1.2 – Измерительная поверхность при наличии одной звукоотражающей плоскости



● – точки измерений; В – огибающий параллелепипед;  $2a$  – длина параллелепипеда измерительной поверхности, м;  $2b$  – ширина параллелепипеда измерительной поверхности, м;  $c$  – высота параллелепипеда измерительной поверхности, м

Рисунок 2.1.3 – Измерительная поверхность при наличии двух звукоотражающих плоскостей



● – точки измерений; В – огибающий параллелепипед; 2а – длина параллелепипеда измерительной поверхности, м; 2b – ширина параллелепипеда измерительной поверхности, м; с – высота параллелепипеда измерительной поверхности, м

Рисунок 2.1.4 – Измерительная поверхность при наличии трех звукоотражающих плоскостей

Площадь измерительной поверхности  $S$ ,  $m^2$  для разного количества звукоотражающих поверхностей рассчитывалась по формулам:

- Одна звукоотражающая плоскость

$$S = 4(ab + bc + ca), m^2. \quad (2.4)$$

- Две звукоотражающие плоскости

$$S = 2(2ab + bc + 2ca), m^2. \quad (2.5)$$

- Три звукоотражающие плоскости

$$S = 2(2ab + bc + ca), m^2. \quad (2.6)$$

При определении шумовых характеристик в каждой точке измерений производилось не менее 3 измерений. Главная ось микрофона направлялась в сторону акустического центра источника шума.

После проведения измерений уровней звукового давления по всех точках измерений, рассчитывался средний эквивалентный уровень звукового давления в каждой точке измерений и средний эквивалентный уровень звукового давления на измерительной поверхности.

Расчет среднего эквивалентного уровня звукового давления  $L_{pi(ST)}$  в  $i$ -той точке измерений выполнялся по формуле:

$$L_{pi(ST)} = 10 \lg \left[ \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^N (10^{0,1 * L_{pj}}) \right], \text{ дБ}, \quad (2.7)$$

где  $N_j$  – количество измерений в  $i$ -той точке;

$L_{pj}$  – уровень звукового давления для  $j$ -го измерения в точке, дБ.

Расчет среднего по поверхности эквивалентного уровня звукового давления  $\overline{L_{p(ST)}}$  в точке измерений выполнялся по формуле:

$$\overline{L_{p(ST)}} = 10 \lg \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (10^{0,1 * L_{i(ST)}}) \right], \text{ дБ}, \quad (2.8)$$

где  $N$  – количество точек измерений на поверхности;

$L_{i(ST)}$  – средний эквивалентный уровень звукового давления в  $i$ -й точке на измерительной поверхности, дБ.

Если при проведении измерений была техническая и организационная возможность проведения измерений фонового шума, то выполняется расчет эквивалентного среднего уровня фонового шума на измерительной поверхности  $\overline{L_{p(B)}}$ . Расчет  $\overline{L_{p(B)}}$  выполняется по формуле:

$$\overline{L_{p(B)}} = 10 \lg \left[ \frac{1}{N_B} \sum_{i=1}^N (10^{0,1 * L_{i(B)}}) \right], \text{ дБ}, \quad (2.9)$$

где  $N_B$  – количество точек измерений фонового шума на поверхности;

$L_{i(B)}$  – средний эквивалентный уровень звукового давления фонового шума в  $i$ -й точке на измерительной поверхности, дБ.

Далее по формуле рассчитывается величина поправки на фоновый шум  $K_1$ , дБ:

$$K_1 = -10 \lg \left( 1 - 10^{-0,1(\overline{L_{p(ST)}} - \overline{L_{p(B)}})} \right), \text{ дБ}. \quad (2.10)$$

Если при этом верно утверждение что  $\overline{L_{p(ST)}} - \overline{L_{p(B)}} \geq 15 \text{ дБ}$ , то величина поправки  $K_1$  принимается равной нулю.

Коррекция на свойства испытательного пространства  $K_2$  представленная в [123, 124] не применяется в данной методике измерений, так как обеспечение условий для определения величины поправки согласно методам представленным в [123] является чрезвычайно трудоемким и в большинстве случаев не выполнимым при проведении измерений в натуральных условиях, а метод представленный в [124] применим исключительно для помещений и не применяется на открытых площадках.

Расчет среднего эквивалентного уровня звукового давления на измерительной поверхности с учетом коррекции на фоновый шум выполняется по формуле:

$$\overline{L_p} = \overline{L_{p(ST)}} - K_1, \text{ дБ.} \quad (2.11)$$

Если для отдельных источников шума отсутствовала возможность оценки влияния фонового шума, но при этом по результатам наблюдения за работой оборудования измерителем определялся шум от измеряемого источника шума на значимых частотах, то выполнялось допущение что для таких источников  $\overline{L_p} = \overline{L_{p(ST)}}$ .

Далее осуществлялся расчет эквивалентных уровней звуковой мощности источника шума по формуле:

$$\overline{L_W} = \overline{L_p} + 10 \lg \frac{S}{S_0}, \text{ дБ,} \quad (2.12)$$

где  $S_0 = 1 \text{ м}^2$ .

После определения эквивалентных скорректированных уровней звуковой мощности в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц, выполняется расчет эквивалентного скорректированного по А уровня звуковой мощности,  $L_{WA}$ , дБА источника шума:

$$L_{WA} = 10 \lg \left( \sum (10^{0,1 * (\overline{L_{Wk}} - \Delta_{Ak})}) \right), \text{ дБА,} \quad (2.13)$$

где  $\overline{L_{wk}}$  - эквивалентный уровень звуковой мощности для k-ой среднегеометрической полосы частот (k=31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц), дБ;

$\Delta_{Ak}$  - величина коррекции А для k-ой среднегеометрической полосы частот, дБ.

## 2.2 Результаты измерений шумовых характеристик источников шума

Результаты измерений шумовых характеристик основных источников шума, формирующих звуковое поле от предприятия ООО «БЕЛАГРОТЕРМИНАЛ», представлены в таблице 2.2.1. Общий перечень всех измеренных ИШ представлен в приложении 1.

Таблица 2.2.1. Наибольшие измеренные уровни звуковой мощности источников шума на территории

№ п/п	Описание ИШ	Эквивалентные уровни звуковой мощности, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентный скорректированный по А уровень звуковой мощности, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1.	Фонарь вытяжного вентилятора, ИВ №0142	102	106	118	116	107	114	103	97	88	116
2.	Фонарь вытяжного вентилятора, ИВ №0138	91	99	100	104	109	106	101	89	77	110
3.	Выпуск труб из стены цеха экстракции (запад)	103	102	105	101	107	101	94	91	84	106
4.	Вытяжная евнтиляция ИВ б/н, колпак	100	105	109	105	100	101	96	90	79	105
5.	Выпуск труб из стены цеха, юго-запад	102	103	102	100	105	100	90	90	87	105

№ п/п	Описание ИШ	Эквивалентные уровни звуковой мощности, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентный скорректированный по А уровень звуковой мощности, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
6.	Вытяжка патрубков - ИВ 0135	98	102	105	102	105	98	89	81	74	104
7.	Вытяжной вентилятор	100	107	108	105	97	100	93	90	81	103
8.	ИВ б/н	101	106	106	105	93	98	92	88	80	102
9.	Вытяжной вентилятор с выбросом пара	104	94	103	102	101	93	84	78	71	100
10.	Градирия №1 D530AA (5,5 кВ 400/600 V, 50 Гц)	95	104	104	98	98	93	91	85	77	99
11.	Фонарь вытяжки, ИВ №124	107	103	108	98	96	92	87	80	73	98
12.	Выгрузка зерна из машины (весь цикл)	102	96	93	90	92	91	89	90	88	97
13.	Локальщик А-55-00166/1Ф (ИВ № 016)	73	86	85	84	97	88	81	78	76	95
14.	Крышной вентилятор ВЗ с открытыми лопастями	93	95	95	96	91	92	86	76	70	95
15.	Труба из цеха с вентилятором	99	100	100	96	91	87	87	83	74	94
16.	Патрубок вентиляции, есть стаканый фильтр	97	91	90	87	96	84	83	76	64	94
17.	Шум от газопровода из окна цеха	94	96	92	88	82	79	84	87	88	92
18.	Приточная вентиляция, забор воздуха (d~1,8 м)	102	98	102	89	88	83	83	79	73	91
19.	Локальщик выгрузки	79	84	87	86	89	87	84	75	71	91

№ п/п	Описание ИШ	Эквивалентные уровни звуковой мощности, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентный скорректированный по А уровень звуковой мощности, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	(вентилятор и улитка)										
20.	Градирня D530B (5,5 кВ 400/600 V, 50 Гц)	86	100	97	92	88	84	81	75	69	90
21.	Градирня TEVA TVAE180 ver.0.6 (5,5 кВ 400/600 V, 50 Гц)	86	100	97	92	88	84	81	75	69	90

Анализ эквивалентных скорректированных по А уровней звуковой мощности, представленных в таблице 2.2.1 подтверждает результаты, представленные в главе 1, что наибольший вклад в формирование звукового поля при работе предприятия оказывают источник вентиляции, в том числе системы выпуска, аспирации и пр. Также значительный вклад дает технологическое оборудование (электродвигатели, конвейерные линии и пр.) а также грузовой транспорт, в том числе при совершении технологических операций загрузки/разгрузки.

Результаты рассмотрения уровней звуковой мощности в октавных полосах частот демонстрируют, что шум от оборудования на предприятии преимущественно широкополосный, без ярко выраженных тональных составляющих в преобладающем большинстве случаев.

Основной вклад в формирование скорректированного по А уровня звуковой мощности большинства рассмотренных источников шума оказывают уровни звуковой мощности в полосах со среднегеометрическими частотами 500 и 1000 Гц, также достаточно существенный вклад в отдельных случаях, выявлен на частотах 250 и 2000 Гц.

### **2.3 Экспериментальные исследования распространения шума от промышленного предприятия**

Для оценки характера распространения шума от источника, представляющего собой промышленное предприятие с множественными источниками шума, на прилегающие к нему территории, была разработана методика измерений.

Методика измерений предусматривает разбиение территории, прилегающей к промышленному предприятию, на квадраты с линейными размерами 100 метров и размещение в узлах полученной решетки точек измерений. Границей с которой начинался отсчет расстояния являлась не граница предприятия, а линия, проходящая через фасад ближайшего к границе предприятия здания на котором располагались мощные источники шума.

На расстояниях 100 м, 200 м, 300 м, 400 м, и 500 м измерения производились в 3 точках измерений, расположенных в узлах сетки. Ввиду наличия жилой застройки на расстоянии свыше 550 метров от предприятия и возникновения значимого экранирующего эффекта, который мог повлиять на результаты эксперимента, и соответственно отсутствия возможности построения равномерной сетки точек на расстояниях 600 м, 700 м, и 800 м, точки сетки на этих расстояниях размещались с отклонением от главной оси сетки точек и измерения проводились в одной точке для каждого из расстояний.

Сетка точек измерений выстраивалась с шагом в 100 метров, что позволило получить закономерности снижения шума при увеличении расстояния. В рамках поставленного натурального эксперимента было получено 4 удвоения расстояния: со 100 до 200, с 200 до 400, с 300 до 600, и с 400 до 800 метров. Схема расположения точек измерений представлена на рисунке 2.3.1.



Рисунок 2.3.1 – Схема расположения точек измерений вблизи промышленного предприятия при исследовании распространения шума

До и после проведения каждой серии измерений была выполнена проверка калибровки измерительного тракта с применением акустического калибратора АК-1000.

В каждой точке выполнялась серия, состоящая не менее чем из 3 измерений, продолжительность каждого измерения не менее 5 минут, но до стабилизации измеряемого уровня в пределах 0,5 дБ. Измеряемые параметры – уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц, а также уровни звука, дБА. Ввиду того, что исследуемое предприятие работает непрерывно, и оценить вклад фоновых источников шума не представлялось возможным, можно констатировать, что при выполнении эксперимента измерялся суммарный шум, однако периоды проведения измерений выбирались в период наименьшей интенсивности фоновых

источников шума, а все помехи, преимущественно от движения автотранспортных средств по прилегающим к предприятию дорогам, устранялись как на этапе проведения измерений, так и на этапе постобработки. Величина расширенной неопределенности измерений по уровню звука во всех точках по каждой серии не превысила 1,5 дБА.

По результатам постобработки были исключены из анализируемой выборки результаты измерений в точках измерений ТИ 11с и ТИ 5с, так как при их анализе их временного распределения были обнаружены множественные значительные помехи, оценить влияние которых на результаты измерений в точке не представлялось возможным.

Результаты измерений после усреднения измеренных параметров в каждой точке измерений и после отбрасывания некорректных результатов представлены в таблице 2.3.1.

Таблица 2.3.1. Уровни звукового давления и уровни звука в точках измерений при распространении шума от предприятия

№ точки измерений	Расстояние до ИШ, м	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука $L_{eq}$ , дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ТИ 1с	100	67,2	68,5	65,0	57,1	51,8	48,6	42,1	30,2	20,9	54,9
ТИ 6с		69,4	68,6	66,1	56,5	53,4	48,0	43,0	31,7	20,6	55,1
ТИ 12с	200	65,1	64,9	62,6	53,1	48,2	49,7	37,8	25,0	17,4	53,0
ТИ 2с		64,9	65,2	62,4	52,3	47,5	47,5	39,8	27,5	20,2	52,0
ТИ 7с		64,1	65,6	63,4	54,4	48,2	46,3	39,9	25,5	15,7	52,3
ТИ 3с	300	61,3	64,0	62,0	52,6	46,7	46,2	36,9	22,8	16,1	51,0
ТИ 13с		64,6	63,7	60,6	50,2	46,3	47,1	36,7	23,4	18,4	50,8
ТИ 8с		66,3	65,3	61,4	49,7	46,6	45,2	36,9	21,9	15,9	50,2
ТИ 14с	400	64,5	62,5	59,1	46,8	45,1	44,8	32,9	20,2	17,3	48,7
ТИ 4с		60,5	62,2	59,0	48,2	44,5	44,3	33,7	24,6	19,5	48,4
ТИ 9с		65,6	63,4	59,3	48,9	44,1	43,2	34,2	23,3	19,7	48,3
ТИ 10с	500	60,5	62,9	57,7	46,5	45,3	42,9	32,3	23,3	18,7	47,6

№ точки измерений	Расстояние до ИШ, м	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука $L_{eq}$ , дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ТИ 15с		62,2	60,2	57,9	46,3	42,6	43,2	32,5	21,8	18,6	47,2
ТИ 16с	600	58,5	60,1	53,5	45,9	41,1	43,2	29,6	21,1	17,0	45,9
ТИ 17с	700	56,0	57,0	53,2	46,0	40,1	41,4	27,2	20,6	17,2	44,6
ТИ 18с	800	58,0	58,9	53,9	44,0	39,4	40,7	26,8	19,2	16,1	44,2

Для сравнения и анализа полученных результатов для точек измерений расположенных на расстояниях 100 – 500 метров, принимались средние значения, полученные в точках измерений, расположенных на одном расстоянии от линии отсчета. Средние значения на разных измерительных расстояниях приведены в таблице 2.3.2.

Таблица 2.3.2. Уровни звукового давления и уровни звука на измерительных расстояниях 100 – 800 метров

№ п/п	Расстояние, м	Средние уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Средний уровень звука $L_{eq}$ , дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	100	68,4	68,6	65,6	56,8	52,7	48,3	42,6	31,0	20,8	55,0
2	200	64,7	65,2	62,8	53,4	48,0	48,1	39,3	26,1	18,2	52,5
3	300	64,5	64,4	61,4	51,0	46,5	46,2	36,8	22,7	17,0	50,7
4	400	64,0	62,7	59,1	48,1	44,6	44,2	33,6	23,1	19,0	48,5
5	500	61,4	61,8	57,8	46,4	44,2	43,1	32,4	22,6	18,7	47,4
6	600	58,5	60,1	53,5	45,9	41,1	43,2	29,6	21,1	17,0	45,9
7	700	56,0	57,0	53,2	46,0	40,1	41,4	27,2	20,6	17,2	44,6
8	800	58,0	58,9	53,9	44,0	39,4	40,7	26,8	19,2	16,1	44,2

Спектральное распределение уровней звукового давления в точках измерений на различных расстояниях от предприятия представлено на рисунке 2.3.2.

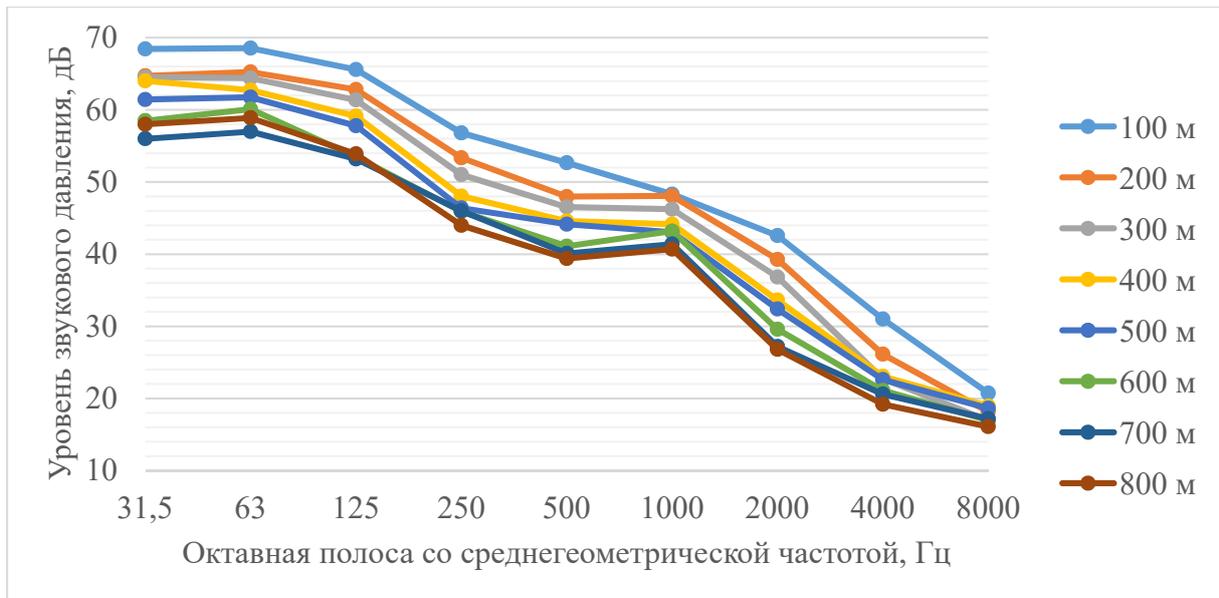


Рисунок 2.3.2 – Спектральное распределение уровней звукового давления на различных расстояниях от предприятия

Анализируя результаты измерений уровней звукового давления, можно заявить, что измерения проведены достаточно корректно и влияние помех на результаты измерений минимально, т.к. на графиках отсутствуют явные выбросы и отклонения от тренда. Характер снижения шума с увеличением расстояния соответствует логарифмическому закону.

Результаты измерений уровней звука в точках измерений на различных расстояниях от предприятия после выполнения процедуры отсева недостоверных результатов и усреднения представлены на рисунке 2.3.3, а на рисунке 2.3.4 представлены значения снижения уровней звука при удвоении расстояния.

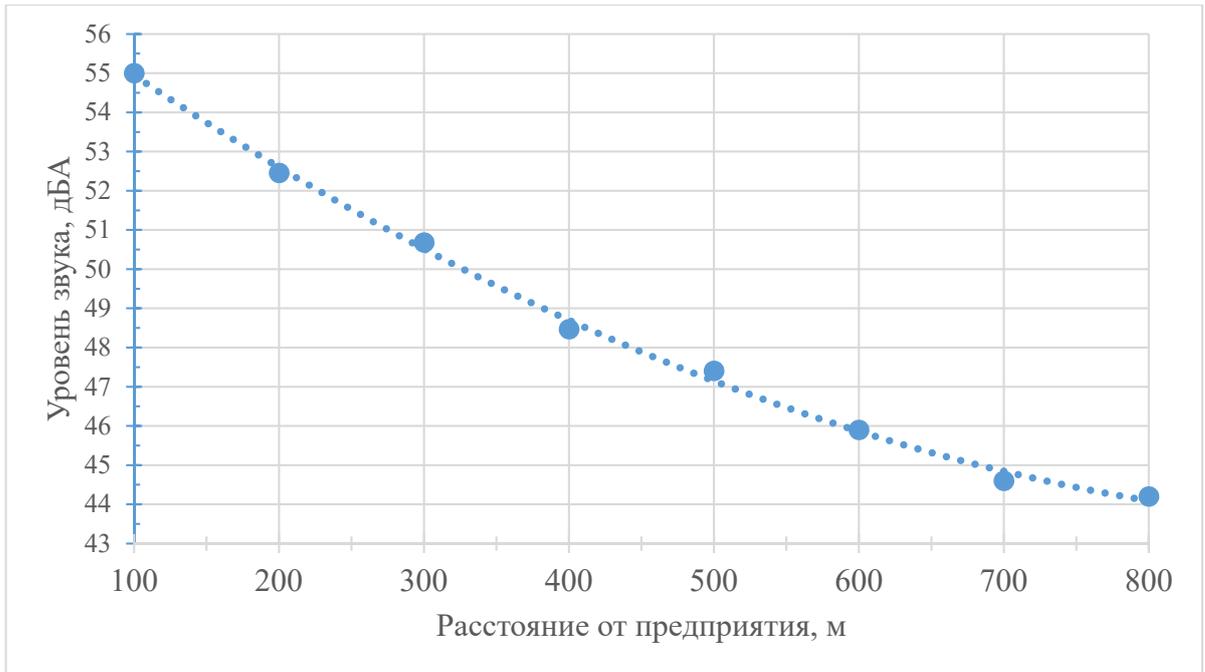


Рисунок 2.3.3 – Средние уровни звука на различных расстояниях от предприятия

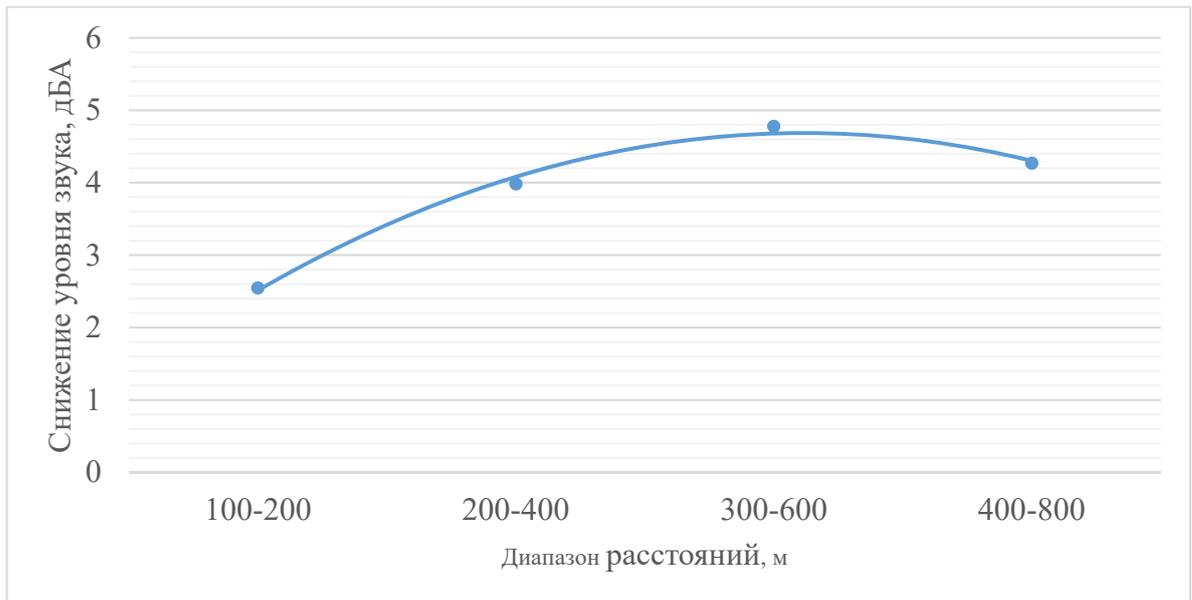


Рисунок 2.3.4 – Снижение уровня звука при распространении звуковой волны для удвоения расстояния

Анализ результатов, представленных на рисунках 2.3.3 и 2.3.4 позволяет оценить величину затухания звука при увеличении расстояния от производственного предприятия до точки наблюдения. Так при сравнении

результатов измерений в точках на 100 и на 200 метрах, мы видим величину затухания порядка 2,5 дБА, при распространении с 200 до 400 метров – 4,0 дБА, с 300 до 600 метров – 4,7 дБА, и с 400 до 800 метров – 4,2 дБА. Следует отметить, что эти закономерности соответствуют теории трансформации звуковых полей: плоская волна с увеличением расстояния переходит в цилиндрическую и далее с сферическую, при этом границы перехода размыты, здесь возникают переходные типы квази-волн.

#### **2.4 Методика измерений шума на селитебной территории**

Для оценки уровней шума на селитебной территории в действующей практике на территории РФ применяются методики измерений, представленные в ГОСТ 23337-2014 [78], а также МУК 4.3.3722-21 [126]. При проведении измерений уровней шума на селитебной территории вблизи объектов испытаний применялась методика измерений ГОСТ 23337-2014 [78].

Точки измерений располагались на границе санитарно-защитной зоны предприятия, а также на территории, прилегающей к жилым домам, наиболее близко расположенным к объектам испытаний. Вблизи жилых домов точки измерений выбирались на расстоянии 2 м от ограждающих конструкций зданий со стороны фасадов, обращенных в сторону предприятия. Измерительный микрофон во всех точках измерений располагался на высоте  $(1,2 \pm 0,1)$  м –  $(1,5 \pm 0,1)$  м над уровнем поверхности территории, а главная ось микрофона была направлена в сторону предприятия.

В каждой точке измерений были проведены предварительные измерения продолжительностью не менее 5 минут, необходимые для определения характера шума от испытуемого объекта и выбора характеристик шума, подлежащих измерению. Методикой измерений ГОСТ 23337-2014 [78] установлено, что критерием отнесения звука к постоянному является то, что разность между наибольшим и наименьшим значениями уровня звука за временной интервал наблюдения не превышает 5 дБА при измерении на временной характеристике S

шумомера, а критерием отнесения шума к непостоянному является невыполнение данного условия. Для непостоянного шума измеряемыми характеристиками являлись эквивалентный уровень звука, максимальный уровень звука, а также в качестве дополнительного (справочного) параметра – эквивалентные уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц. Если шум в точке измерений классифицировался как постоянный, то в качестве измеряемых параметров выступали уровень звука и уровни звукового давления в октавных полосах частот в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц.

В каждой точке измерений выполнялось не менее 4 измерений. Продолжительность каждого из измерений была не менее 5 минут.

Измерения производились для двух периодов наблюдений: для дневного времени суток (с 7.00 до 23.00 ч) и для ночного периода суток (с 23.00 до 7.00 ч).

До и после каждой серии измерений выполнялась проверка калибровки измерительного тракта микрофона с применением поверенного акустического калибратора 1-го класса АК-1000 в соответствии с руководством по эксплуатации измерительной системы. Согласно эксплуатационной документации на применявшиеся для проведения измерений шумомеры допустимым считается отклонение показаний шумомера при проверке на частоте калибровки от номинального уровня калибровочного сигнала  $\pm 0,5$  дБ. При выявлении отклонений, измерения признавались недействительными, выполнялась проверка работоспособности оборудования и повторная проверка калибровки, если при повторной проверке отклонения не выявлялись, то выполнялась повторная серия измерений.

Методика измерений шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий представленная в ГОСТ 23337-2014 [78] предусматривает последующую обработку результатов измерений, которая позволяет учесть влияние фонового (остаточного) шума, звукопоглощение помещения, коррекцию на происхождение шума, коррекцию на импульсность и тональность шума, а также

коррекцию на время суток, и итоговое скорректированное значение уровня звука, дБА или уровня звукового давления, дБ рассчитывается по формуле:

$$L_{корр} = L_{изм} + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5, \quad (2.14)$$

где  $L_{изм}$  – среднее значение измеренного уровня звука или звукового давления, дБА (дБ);

$K_1$  – коррекция на влияние фонового (остаточного) шума, дБ;

$K_2$  – коррекция на влияние звукопоглощения помещения, дБ;

$K_3$  – коррекция на происхождение шума, дБ;

$K_4$  – коррекция на импульсность или на тональность шума, дБ;

$K_5$  – коррекция на время суток, дБ.

При проведении измерений коррекция на влияние фонового шума не производилась, т.к. режим работы предприятия 24 часа 7 дней в неделю, не позволяет произвести испытания в период отключения источников шума на обследуемом предприятии и измерить параметры фоновых источников шума. В связи с этим во всех точках измерений измерялся общий (суммарный) шум. Из обработки исключалась коррекция  $K_2$  (на влияние звукопоглощения помещения), так как измерения производились на территории жилой застройки вне помещений.

Применение коррекции на происхождение шума  $K_3$  также не оказывает влияния на результаты измерений при оценке воздействия шума от промышленных предприятий, т.к. для промышленных предприятий  $K_3=0$  дБ.

Также важно помнить, что документы, содержащие нормативные значения, уже учитывают большинство представленных в данной методике коррекций и учет коррекций на импульсность или тональность, а также коррекцию на время суток не следует применять, т.к. это приведет к двойному учету одной и той же поправки и искажению результатов оценки.

Для учета влияния систематических и случайных погрешностей на результаты измерений для всех точек измерений производился расчет расширенной неопределенности измерений  $U(N)$  эквивалентных уровней звука, дБА и уровней звукового давления, дБ. Расчет расширенной неопределенности

измерений для максимальных уровней звука не производился и в качестве оценочного значения, характеризующего шум в точке, принималось значение наибольшего измеренного значения за период наблюдения.

Для расчета расширенной неопределенности измерений был выполнен расчет неопределенности по типу А ( $u_A$ , дБА (дБ)), учитывающей источники неопределенности случайного характера, такие как погрешность методики измерений, влияние условий окружающей среды и др. по формуле:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_{A_{eq\ cp}}(L_{eq\ cp}))^2}{n(n-1)}}, \text{ дБА (дБ)}. \quad (2.16)$$

И расчет неопределенности по типу В ( $u_B$ , дБА (дБ)), обусловленную источниками, имеющими систематический характер распределения, например, погрешность средства измерений и калибровки, по формуле

$$u_B = \frac{\Delta L_{инстр}}{\sqrt{3}}, \text{ дБА (дБ)}, \quad (2.17)$$

где  $\Delta L_{инстр}$  – инструментальная погрешность измерений уровня звука (уровней звукового давления), дБА (дБ), определяемая по эксплуатационной документации на средство измерений.

Расчет инструментальной погрешности измерения для средств измерений, применяемых в рамках данного исследования, производился по формуле:

$$\Delta L = 20 \lg(1 + \sqrt{(10^{\Delta_1/20} - 1)^2 + \sum (10^{\Delta_k/20} - 1)^2}), \text{ дБА (дБ)} \quad (2.18)$$

где  $\Delta_1$  – модуль погрешности измерения звука, дБ (для исследуемых в работе диапазонов измерений  $\Delta_1=0,7$  дБ);

$\Delta_k$  – модуль k-й дополнительной погрешности, дБ, определяемый в соответствии с таблицей 2.3.1.

Таблица 2.3.1. Основные и дополнительные погрешности средства измерений

Воздействующий фактор	Пределы дополнительной погрешности
Применение ветрозащиты	$\pm 0,2$ дБ

Воздействующий фактор	Пределы дополнительной погрешности
Применение микрофонных удлинительных кабелей более 15 м	±0,1 дБ
Проведение измерений при относительной влажности воздуха <ul style="list-style-type: none"> <li>• в диапазоне 40...60 % ОВ</li> <li>• в диапазоне 30...40 % ОВ или 60...70 % ОВ</li> <li>• в диапазоне 10...30 % ОВ или 70...90 % ОВ</li> </ul>	±0,05 дБ ±0,1 дБ ±0,2 дБ
Проведение измерений при температуре воздуха <ul style="list-style-type: none"> <li>• в диапазоне +15...+30°C</li> <li>• в диапазоне +5 ...+15°C или +30...+40°C</li> <li>• в диапазоне -10...+5°C или +40...+50°C</li> </ul>	±0,15 дБ ±0,3 дБ ±0,7 дБ

После расчета составляющих был выполнен расчет расширенной неопределенности измерений  $U(N)$  для одностороннего интервала охвата с коэффициентом охвата  $k=1,65$ , и уровнем доверия  $N=95\%$ , по формуле:

$$U(95\%) = k \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2} . \quad (2.19)$$

Выбор одностороннего интервала охвата обусловлен поставленной целью измерений, а именно необходимостью сравнения измеренных уровней шума в точках с гигиеническими нормативами.

## 2.5 Характеристики шума в жилой застройке

В рамках постановки эксперимента при выполнении данной работы были выполнены измерения уровней шума на территориях жилой застройки, прилегающих к промышленному предприятию ООО «Белагротерминал» по адресу: Республика Беларусь, Гродненская обл., г. Сморгонь, ул. Логистическая, 4, к.15.

При проведении измерений на границе СЗЗ и территории, прилегающей к предприятию, было подобрано 10 контрольных точек.

Расположение точек представлено на рисунке 2.5.1, результаты измеренных уровней звука и уровней звукового давления от работы оборудования на территории предприятия приведены в таблице 2.5.1.

Выбранные точки измерений на границе СЗЗ и селитебной территории совпадают с точками измерений в которых выполняется процедура производственного контроля, а также у ближайших к предприятию жилых домах. Ближайшие жилые объекты, располагаются на расстоянии 150-250 метров от границы предприятия в восточном и юго-восточном направлении, а наиболее отдаленные точки измерений располагаются вблизи жилых объектов в северном направлении от предприятия на расстоянии примерно 380 метров от границы предприятия. В южном и западном направлении от предприятия жилые объекты отсутствуют.



Рисунок 2.5.1 – Схема расположения точек измерений на границе СЗЗ предприятия и в ближайшей жилой застройке

Таблица 2.5.1. Результаты натурных замеров на границе, существующей СЗЗ и на селитебной территории в дневное и ночное время суток

№ точки	Описание	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Lэкв., дБА	Lмакс., дБА
		31,5	63	125	250	500	100	200	400	800		
<b>Дневное время суток</b>												
КТ-1	Соответствует ППК1 - на границе СЗЗ (север)/ на границе земельного участка для ведения личного подсобного хозяйства (кадастровый номер № 425682405101000130)	63	64	56	52	50	44	36	26	27	50	51
КТ-2	Соответствует ППК2 - на границе СЗЗ (северо-восток)	66	64	59	47	47	44	36	26	25	49	50
КТ-3	Соответствует ППК3 - на границе СЗЗ (северо-восток)	65	62	53	47	46	41	34	29	27	47	47
КТ-4	Соответствует ППК4 - на границе СЗЗ (юго-восток)	61	50	45	41	41	37	29	24	26	42	42
КТ-5	Территория жлой застройки усадебного типа (д. Ореховка, у д. 67, координаты 54.488446, 26.365634)	61	59	50	42	40	36	28	24	26	42	42
КТ-6	Территория жлой застройки усадебного типа (д. Ореховка, у д. 57, координаты 54.489158, 26.363389)	55	56	46	40	37	33	25	24	27	39	40
КТ-7	Соответствует ППК7 - на границе СЗЗ (северо-запад)	62	62	51	47	47	42	35	25	26	48	49
КТ-8	Соответствует ППК8 - территория жилой застройки усадебного типа (д. Ореховка)	67	59	48	36	41	38	25	24	27	42	43
КТ-9	Соответствует ППК9 - территория жилой застройки усадебного типа (г. Сморгонь, ул. Комсомольская, 146А)	59	57	51	42	41	37	30	27	27	43	43
КТ-10	Соответствует ППК10 - территория жилой застройки усадебного типа (г. Сморгонь, ул. Богушевича, д. 39)	60	59	56	47	44	42	31	25	27	46	47
<b>Допустимые уровни в дневное время СанПиН 1.2.3685-21 табл. 5.35. позиция 14 с 7.00 – 23.00</b>		<b>90</b>	<b>75</b>	<b>66</b>	<b>59</b>	<b>54</b>	<b>50</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>43</b>	<b>55</b>	<b>70</b>

№ точ ки	Описание	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Lэкв., дБА	Lмакс., дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
<b>Ночное время суток</b>												
КТ-1	Соответствует ППК1 - на границе СЗЗ (север)/ на границе земельного участка для ведения личного подсобного хозяйства (кадастровый номер № 425682405101000130)	61	62	52	49	49	45	35	24	15	49	50
КТ-2	Соответствует ППК2 - на границе СЗЗ (северо-восток)	64	65	61	53	51	45	37	22	11	52	52
КТ-3	Соответствует ППК3 - на границе СЗЗ (северо-восток)	64	65	59	48	46	41	31	16	11	48	48
КТ-4	Соответствует ППК4 - на границе СЗЗ (юго-восток)	61	52	49	38	37	30	19	13	12	38	38
КТ-5	Территория жлой застройки усадебного типа (д. Ореховка, у д. 67, координаты 54.488446, 26.365634)	58	56	49	40	43	37	23	15	12	42	42
КТ-6	Территория жлой застройки усадебного типа (д. Ореховка, у д. 57, координаты 54.489158, 26.363389)	55	53	49	42	41	35	21	18	16	41	42
КТ-7	Соответствует ППК7 - на границе СЗЗ (северо-запад)	53	51	51	43	40	36	24	12	11	42	42
КТ-8	Соответствует ППК8 - территория жилой застройки усадебного типа (д. Ореховка)	55	51	44	38	40	34	20	16	13	39	40
КТ-9	Соответствует ППК9 - территория жилой застройки усадебного типа (г. Сморгонь, ул. Комсомольская, 146А)	60	59	55	43	45	38	30	28	20	45	45
КТ-10	Соответствует ППК10 - территория жилой застройки усадебного типа (г. Сморгонь, ул. Богушевича, д. 39)	62	60	56	43	46	42	30	16	13	47	47
<b>Допустимые уровни в ночное время СанПиН 1.2.3685-21 табл. 5.35. позиция 14 с 23.00 – 07.00</b>		<b>83</b>	<b>67</b>	<b>57</b>	<b>49</b>	<b>44</b>	<b>40</b>	<b>37</b>	<b>35</b>	<b>33</b>	<b>45</b>	<b>60</b>

По результатам измерений в контрольных точках на селитебной территории и границе санитарно-защитной зоны предприятия определено, что характер шума

в точках измерений классифицируется как постоянный широкополосный без выраженных тональных и импульсных составляющих.

## 2.6 Требования к снижению шума

Спектральное распределение уровней звукового давления в октавных полосах частот в диапазоне 31,5-8000 Гц в точках контроля, в которых были выявлены превышения над нормативными значениями, представлено на рисунке 2.6.1.

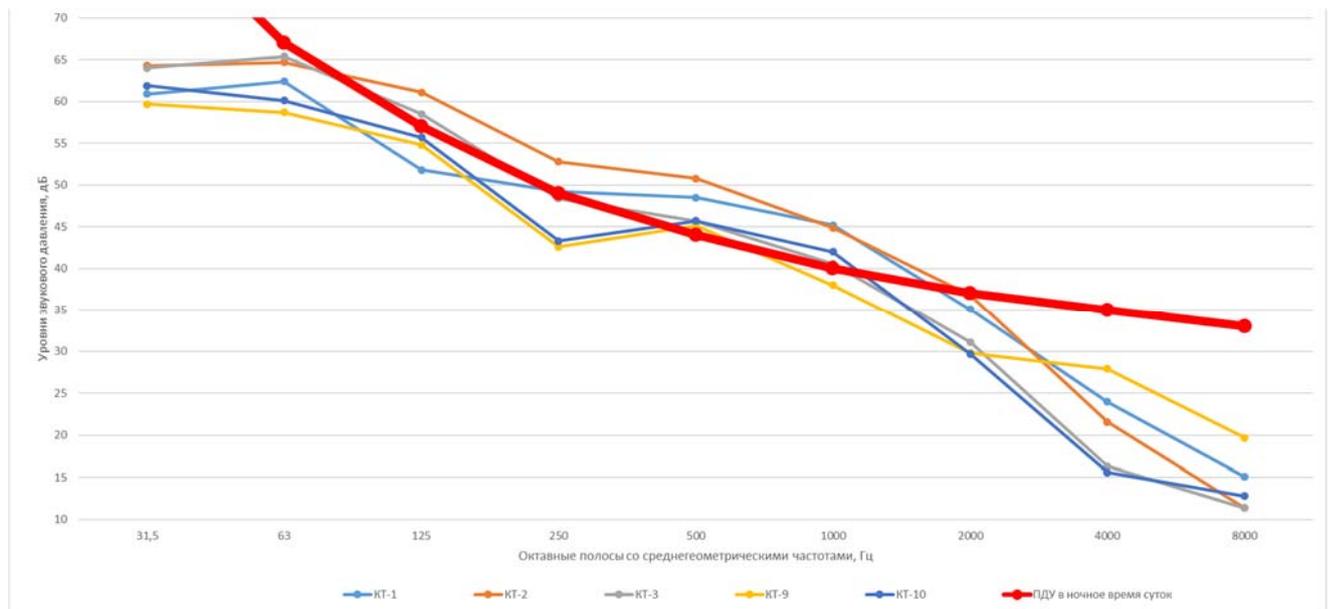


Рисунок 2.6.1 – Результаты измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот для точек контроля с превышением УЗД в ночное время суток при работе оборудования

Анализ таблицы 2.5.1 и рисунка 2.6.1 показывает, что превышения уровней звукового давления и уровней звука отмечены только в ночное время суток:

- в точке КТ-1 (соответствует ППК2 – на границе СЗЗ (северо-восток)) для октавных полос со среднегеометрическими частотами 500 Гц (на 5 дБ), 1000 Гц (на 3 дБ) и уровней звука на 4 дБА;
- в точке КТ-2 (соответствует ППК1 - на границе СЗЗ (север)/ на границе земельного участка для ведения личного подсобного хозяйства (кадастровый номер № 425682405101000130)) для октавных полос со среднегеометрическими

частотами 125 Гц (на 4 дБ), 250 Гц (на 4 дБ), 500 Гц (на 7 дБ), 1000 Гц (на 1 дБ) и уровней звука на 7 дБА;

– в точке КТ-3 (соответствует ППК3 - на границе СЗЗ (северо-восток)) для октавных полос со среднегеометрическими частотами 125 Гц (на 2 дБ), 500 Гц (на 2 дБ), 1000 Гц (на 1 дБ) и уровней звука на 3 дБА;

– в точке КТ-9 (Соответствует ППК9 - территория жилой застройки усадебного типа (г. Сморгонь, ул. Комсомольская, 146А)) для октавной полосы 500 Гц на 1 дБ;

– в точке КТ-10 (соответствует ППК103 - территория жилой застройки усадебного типа (г. Сморгонь, ул. Богушевича, д. 39)) для октавных полос со среднегеометрическими частотами 500 Гц (на 2 дБ), 1000 Гц (на 2 дБ) и уровней звука на 2 дБА.

Также результаты показывают, что превышения уровней звукового давления лежат в основном в частотном диапазоне 125-1000 Гц. При этом основные превышения наблюдаются в точках контроля, расположенные на ближайшем расстоянии к площадке (за исключением КТ-9 и КТ-10).

Спектральное распределение уровней звукового давления в точках измерений соответствует спектральному распределению источников шума на предприятии с учетом затухания, что подтверждает, что основным источником шума на прилегающей к предприятию территории являются источники шума на территории предприятия.

### **Выводы по главе**

1) На основе стандартных методик измерений, разработана модифицированная методика измерений шумовых характеристик оборудования, позволяющая провести измерения уровней звуковой мощности в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц и эквивалентных скорректированных уровней звуковой мощности.

2) Проведены измерения шумовых характеристик источников шума на территории действующего предприятия, выступающего в роли объекта исследования.

3) Проведен эксперимент по оценке распространения шума от промышленного предприятия на расстояниях от 100 до 800 метров. Результаты эксперимента продемонстрировали зависимости соответствующие теории трансформации звуковых полей: плоская волна с увеличением расстояния переходит в цилиндрическую и далее сферическую, при переходе от одной формы волны к другой возникают квази-волны.

4) По стандартным методикам проведены измерения уровней звука и звукового давления на нормируемых объектах, прилегающих к объекту исследования.

### **Глава 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ВНЕШНЕГО ШУМА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С МНОЖЕСТВЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ШУМА**

#### **3.1 Определение акустической мощности, излучаемой предприятием**

Выполнение определения уровня звуковой мощности предприятия, аппроксимированного в качестве плоского источника можно разделить на 4 последовательных задачи [128]:

1. инвентаризация источников шума на предприятии, их систематизация и определение номенклатуры источников, которые целесообразно учитывать при выполнении дальнейших расчетов;
2. определение линейных параметров плоского источника и его суммарной площади;
3. оценка влияния эффектов экранирования шума от источников строениями и конструкциями, расположенными на территории предприятия;
4. оценка влияния высоты источников, в том числе высоты площадок на которых расположены источники шума, кровель зданий, фасадов с вентиляционными установками и т.д.

Протяженные линейные источники, расположенные не на площадке плоского источника, должны учитываться отдельно от плоского источника и соответственно должен выполняться отдельный расчет распространения шума от данных линейных источников с последующим суммированием звуковой энергии в расчетной точке.

Наиболее удобным методом по определению уровня звуковой мощности плоского источника, который представлен набором точечных источников, располагающихся на ограниченной площади, является метод энергетического суммирования уровней звуковой мощности данных точечных источников. В качестве исходных данных по акустическим характеристикам оборудования

необходимо принимать измеренные уровни звуковой мощности в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц или акустические характеристики, представленные в паспортах и эксплуатационной документации на оборудование [129].

Определение линейных размеров плоского источника шума базируется на принципе подбора наименьшей площадки правильной формы (прямоугольник или многоугольник простой формы), которая будет включать в себя все плоскости и площадки, с расположенными на них значимыми источниками шума, наиболее часто это кровли всех строений на которых располагаются значимые источники звука (вентиляционные системы, выпуски технологического оборудования, градирни) [130].

Учет всех источников шума при выполнении расчетов нецелесообразен, так как вклад многих источников в формирование звукового поля даже на малом удалении от предприятия пренебрежимо мал и приведет только к усложнению расчетной модели. К источникам шума, которые целесообразно включать в расчет уровня звуковой мощности предприятия, относятся источники с наибольшими уровнями звуковой мощности.

Путем простых вычислений можно определить, что при рассмотрении выборки источников шума для ситуации, когда уровень звуковой мощности (УЗМ) 99 % источников меньше чем у источника с наибольшими УЗМ на 30 дБ, то вклад этих источников при энергетическом суммировании УЗМ всех источников будет составлять 0,4 дБ, а если предположить, что доля таких источников составляет 98 %, а оставшиеся 2 % имеют равные уровни звуковой мощности, то вклад этих 98 % источников сократится до 0,2 дБ, при доле источников с УЗМ на 30 дБ больше чем у остальных в размере 3-5 % от общего числа, вклад оставшихся 97-95 % источников при наихудшей ситуации сократится до 0,1 дБ, а при большем количестве источников с высокими УЗМ величина вклада будет составлять менее 0,1 дБ. Результаты анализа приведены на рисунке 3.1.1.

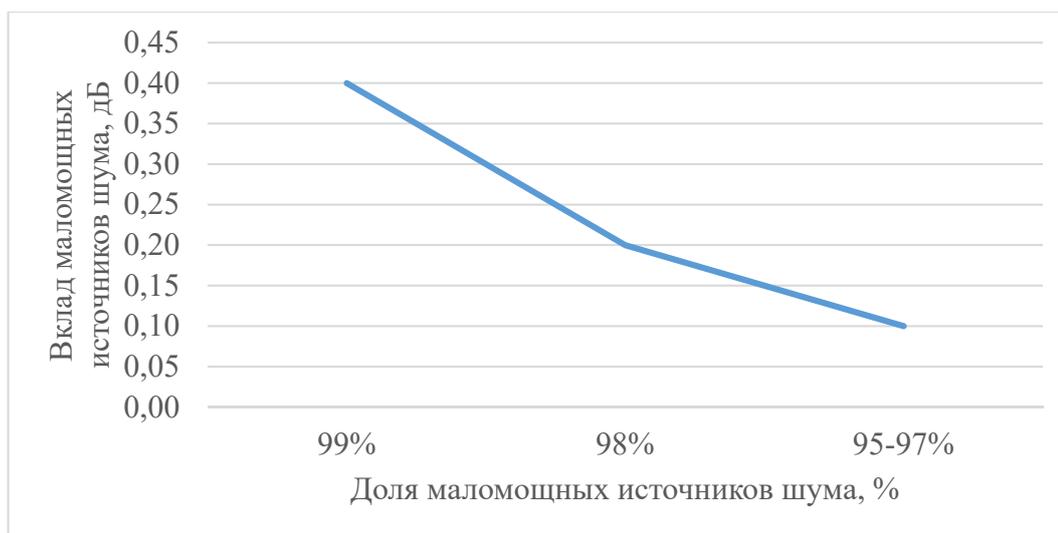


Рисунок 3.1.1 – График изменения вклада (при энергетическом суммировании уровней звуковой мощности) источников шума, уровни звуковой мощности которых на 30 дБ меньше, чем уровни наиболее мощного источника шума

При рассмотрении аналогичной выборки, где разница по УЗМ между источником с наибольшими УЗМ и остальными сокращается до 20 дБ, при доле источников с УЗМ с наибольшими уровнями в 1 %, вклад оставшихся 99 % источников составит 3 дБ, т.е. половину звуковой энергии, при доле источников с наибольшими УЗМ в 10 %, вклад остальных 90 % составляет 0,4 дБ, а с ростом доли источников с наибольшими УЗМ до 50 % вклад остальных источников снижается до менее 0,1 дБ. Результаты анализа приведены на рисунке 3.1.2.

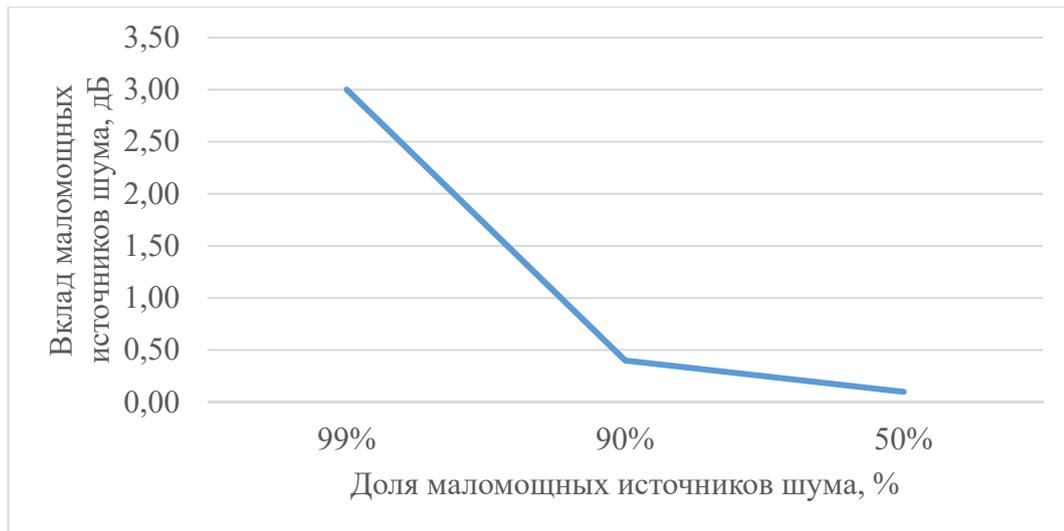


Рисунок 3.1.2 – График изменения вклада (при энергетическом суммировании уровней звуковой мощности) источников шума, уровни звуковой мощности которых на 20 дБ меньше, чем уровни группы наиболее мощных источников

Таким образом правила выбора источников шума на территории предприятия, которыми допускается пренебречь при расчёте уровней звуковой мощности предприятия описываются следующим образом:

1. точечные источники, уровни звуковой мощности которых как минимум на 30 дБ ниже уровней звуковой мощности наиболее мощного источника на рассматриваемой площадке;
2. точечные источники, уровни звуковой мощности которых как минимум на 20 дБ ниже уровней звуковой мощности группы наиболее мощных источников, при условии, что доля наиболее мощных источников (с превышением УЗМ >20 дБ над остальными источниками шума) составляет 10 % и более от общего количества ИШ.

В качестве высоты расположения плоского источника шума в предложенном методе принимается характеристическая высота всех значимых источников шума на предприятии, которая определяется в соответствии с [130] по формуле:

$$H = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n h_k, \text{ м}, \quad (3.1)$$

где  $n$  – количество источников шума;

$h_k$  – высота акустического центра  $k$ -го источника шума, м.

Если положение акустического центра неизвестно, то в качестве него принимают среднюю точку источника шума.

Если на предприятии имеются высокие источники шума, т.е. высота данных источников значительно отличается от характеристической высоты предприятия (в 2 и более раз) и если вследствие экранирования и/или характеристик направленности этих источников нет возможности корректно учесть их влияние на результирующий уровень звуковой мощности предприятия, то целесообразно оценить распространение шума от этих источников отдельно с выполнением операции энергетического суммирования в расчетной точке.

Таким образом, в дальнейшем расчете учитывается плоский источник, сформированный группами точечных источников, расположенных на кровле и фасадах зданий, заданный уровнем звуковой мощности и характеризующийся линейными параметрами (длиной и шириной).

Анализ результатов измерений позволил определить размеры плоского источника шума. Результаты измерений показывают, что граница перехода от квазиплоской волны к квазицилиндрической лежит примерно на расстоянии 225 метров от производственного предприятия, что соответствует размеру источника шума порядка 700 м. Полученная закономерность позволяет предположить, что за размер плоского источника шума следует принимать ту часть площади предприятия, на которой расположены основные значимые источники шума, при этом размер линейного источника (при переходе из плоского типа волны в цилиндрический) соответствует периметру данного плоского источника площадью порядка 25900 м<sup>2</sup>. Аппроксимированный плоский источник для объекта исследования представлен на рисунке 3.1.3.



Рисунок 3.1.3 – Определение размера плоского и линейного источника шума

## 3.2 Расчет звукового поля, образованного плоским источником шума

### 3.2.1 Основные положения теории. Допущения теории

Предлагаемые математические модели для расчетных формул по снижению шума от промышленных источников, основаны на теории оценки снижения шума, базирующейся на статистической геометрической теории акустики, основу которой заложили З. Маекава [131-132] и Н.И. Иванов [133], и которую подробно описала и развила М.В. Буторина в [42].

В [42] здания различных форм рассматриваются как вторичные излучатели шума в соответствии с принципом Гюйгенса. То есть вторичные излучатели преобразуют звуковое поле источника шума на пути его распространения до расчетной точки [135]. В ходе осуществления преобразований учитываются следующие основные параметры:

- характеристики звукового поля источника шума;
- геометрические размеры источника шума;

- отражение шума от элементов рассматриваемых зданий;
- звукопоглощающие свойства кровель и фасадов зданий.

Звуковое поле в точке на территории застройки формируется вкладками вторичных источников шума. Изначально группа точечных источников на территории предприятия аппроксимируется плоским источником шума. Распространение шума на местности прилегающей к предприятию происходит от вторичного плоского излучателя звука, который по мере увеличения расстояния переходит в линейный, а затем в точечный источник.

Разрабатываемый подход позволяет оценить снижение шума за счет дивергенции при распространении звука в свободном поле.

*Основные положения теории:*

1. В разработанной теории использованы положения волновой, геометрической и статистической теорий акустики;
2. Звуковое поле в точке на территории застройки формируется вкладками вторичных источников шума;
3. Группа точечных источников на территории предприятия аппроксимируется плоским источником шума;
4. Распространение шума на прилегающей территории происходит от вторичного плоского излучателя звука, который по мере увеличения расстояния переходит в линейный, а затем в точечный источник;
5. При распространении шума учитываются явления отражения, поглощения, дифракции и дивергенции звука;
6. Для оценки дифракции учитывается путь звукового луча, огибающий препятствие.

*Основные допущения разработанной теории:*

При расчетах было принято несколько допущений, основные из которых следующие:

1. При рассмотрении процессов дивергенции источник шума принимается ненаправленным источником;

2. Рассматриваемые точечные источники шума некогерентны (рассматриваются широкополосные источники, расстояние между которыми превышает длину волны  $r \geq \frac{\lambda}{6}$ );

3. Все рассматриваемые процессы линейны, поскольку уровень звукового давления источников менее 130 дБ во всех полосах частот;

4. Молекулярное затухание звука в воздухе, влияние метеорологических условий, поглощение поверхностью на распространение звука и т.п. оценивается по стандартным методикам [38];

5. Учет влияния коэффициента дифракции как меры изменения направления распространения звука при наличии производится в соответствии с работой [134], коэффициент дифракции  $\beta_{\text{диф}}$  принимается равным  $1/\pi$ ;

6. В теории не учитывается явление интерференции.

В разработанной теории учитывается, что изначально звук равномерно распределяется по всей площади плоского источника шума, расположенного параллельно поверхности земли, например, по кровле здания. Однако при оценке дивергенции учитывается вторичный источник шума, расположенный на фасадах зданий, перпендикулярных поверхности земли. Таким образом, происходит трансформация первичного источника во вторичный за счет дифракции звука через кромку зданий.

При этом звук от источника шума сразу попадает к боковому свободному ребру препятствия, и распространяется за него с учетом метода огибания, учитывающего линейное распространение звуковой волны, зависящее от линейных параметров препятствия. Коэффициент дифракции принимается для этого свободного ребра.

Дивергенция рассчитывается для плоского источника, расположенного на фасаде здания, обращенного в сторону расчетной точки.

### 3.2.2 Границы расчетов

Граничные условия расчета определяются видом звуковой волны и размером акустической тени, которая возникает за препятствием.

Определение границ перехода звуковых волн, излучаемых зданием как вторичным источником шума, из одного типа в другой (плоская→ цилиндрическая→ сферическая), приняты следующие допущения [133]:

Для плоской волны:

$$R \leq 0,4\sqrt{S}, \text{ м}, \quad (3.2)$$

где  $S$  – площадь источника,  $\text{м}^2$ , равная  $S = l_{\text{зд}} \cdot h_{\text{зд}}$ ;

$l_{\text{зд}}$  – длина вторичного источника (здания), м;

$h_{\text{зд}}$  – высота вторичного источника (здания), м.

Для цилиндрической волны:

$$R \leq \frac{l_{\text{зд}}}{\pi}, \text{ м}. \quad (3.3)$$

Для сферической волны:

$$R \geq 2l_{\text{зд}}, \text{ м}. \quad (3.4)$$

Звуковая волна принимается квазицилиндрической в пределах:

$$\frac{l_{\text{зд}}}{\pi} \leq R \leq 2l_{\text{зд}}, \text{ м}. \quad (3.5)$$

Существование такого типа волны было обосновано в работе [31].

В пределах:

$$0,4\sqrt{S} \leq R \leq \frac{l_{\text{зд}}}{\pi}, \text{ м}, \quad (3.6)$$

звуковая волна принимается квазиплоской.

Все граничные условия для перехода волн из одного типа в другой, а также расчетные формулы для каждого типа волны согласно [132], обобщены в таблице 3.2.2.1.

Таблица 3.2.2.1. Характер звуковой волны и расчетные формулы

Характер звуковой волны	Условия	Формула для расчета
Плоская	$R \leq 0,4\sqrt{S}$	$I_{PT} = \frac{W_{уст}}{\pi l h} \operatorname{arctg} \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}}$
Квазиплоская	$0,4\sqrt{S} \leq R \leq \frac{l}{\pi}$	
Цилиндрическая	$R \leq \frac{l}{\pi}$	$I_{PT} = \frac{W_{уст}}{2\pi l R} \operatorname{arctg} \frac{l}{2R}$
Квазицилиндрическая	$\frac{l}{\pi} \leq R \leq 2l$	
Сферическая	$R \geq 2l$	$I_{PT} = \frac{W_{уст}}{\Omega R^2}$
<p><math>R</math> – расстояние от источника шума до расчетной точки, м;  <math>h, l</math> – высота и длина излучателя (здания), м;  <math>S</math> – площадь излучателя, м<sup>2</sup>;  <math>W_{уст}</math> – мощность источника звука, Вт;  <math>\Omega</math> – угол, в который производится излучение</p>		

### 3.2.3 Правило расчетов

Расчеты выполняются в соответствии с правилом, предложенным Н.И. Ивановым [133] согласно которому (рисунок 3.2.3.1):

$$W_{ист} \rightarrow I_1 \rightarrow W_1 \rightarrow I_2 \rightarrow W_2 \rightarrow \dots \rightarrow I_n \rightarrow W_n \rightarrow I_{PT} \quad (3.7)$$

где  $W_{ист}$  – акустическая мощность источника, Вт;

$I_1$  – интенсивность звука на первой поверхности с первым импедансом, Вт/м<sup>2</sup>;

$W_1$  – акустическая мощность звука, излучаемого этой поверхностью, Вт;

$I_2$  и  $W_2$  – то же для второй поверхности с новым импедансом;

$I_n$  и  $W_n$  – то же для  $n$ -й поверхности;

$I_{PT}$  – интенсивность звука в расчетной точке (РТ), Вт/м<sup>2</sup>.

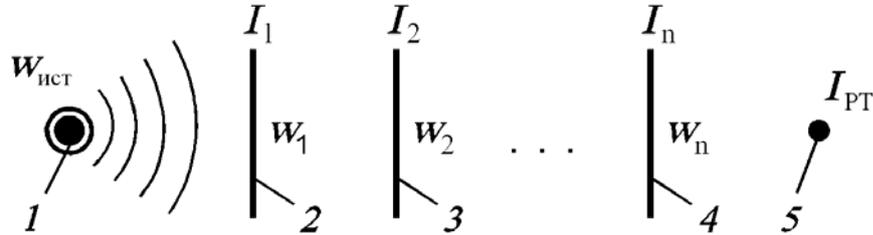


Рисунок 3.2.3.1 – Иллюстрация к правилу расчетов: 1 – источник звука; 2, 3, 4, ...,  $n$  – переходные поверхности; 5 – расчетная точка

Исходной величиной для расчетов является акустическая мощность источника шума ( $W_{ист}$ ), конечной величиной является интенсивность звука в расчетной точке ( $I_{PT}$ ).

Вывод расчетной формулы для линейного источника осуществляется согласно теории предложенной Маекавой [132]. Линейный излучатель конечной длины при этом представляется набором точечных источников, распределённых от  $x_1$  до  $x_2$  как показано на рисунке 3.2.3.2. Для такого подхода плотность звуковой энергии, излучаемой рассматриваемым линейным источником при излучении в полупространство для расчетной точки, расположенной на расстоянии  $d$  от источника шума, будет определять по формуле (3.8):

$$E = \frac{W}{2\pi c} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{d^2 + x^2}, \quad (3.8)$$

В результате преобразований указанную формулу можно представить в виде [132]:

$$E = \frac{W}{2\pi c} \frac{\varphi}{d} \quad (3.9)$$

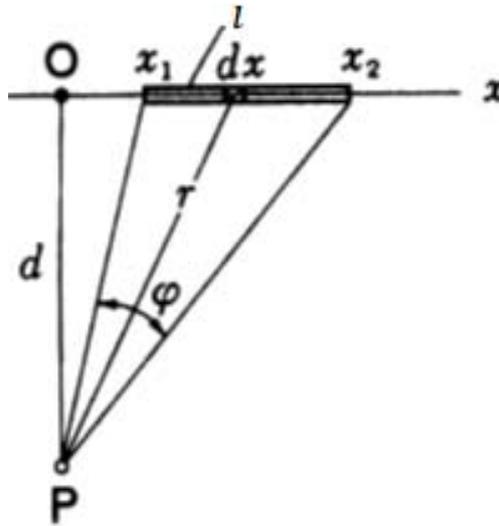


Рисунок 3.2.3.2 – Аппроксимация линейного источника конечной длины

Если принять длину источника равной  $l$ , а  $x_1 = x_2 = l/2$ , тогда изменение плотности звуковой энергии с изменением расстояния может быть определено как:

$$E = \frac{W}{2\pi c d} \left( \arctg \frac{l}{2d} \right) \quad (3.10)$$

Отсюда интенсивность звука определится как:

$$I = \frac{W}{2\pi l d} \left( \arctg \frac{l}{2d} \right) \quad (3.11)$$

Полагая, что звук в верхней части здания излучается линейным источником длиной  $l$  на расстояние, равное высоте здания  $h$ , для которого выполняется условие  $h \leq l/\pi$ , тогда интенсивность звука на стороне здания, перпендикулярной источнику звука, определится как:

$$I_1 = \frac{W}{2\pi h} \arctg \frac{l}{2h}, \text{ Вт/м}^2. \quad (3.12)$$

### 3.2.4 Разработка математической модели для оценки распространения шума промышленного предприятия

Граничные условия расчета определяются видом звуковой волны, описываемой формулами из таблицы 3.2.2.1. Расчетная схема для оценки распространения шума представлена на рисунке 3.2.4.1.

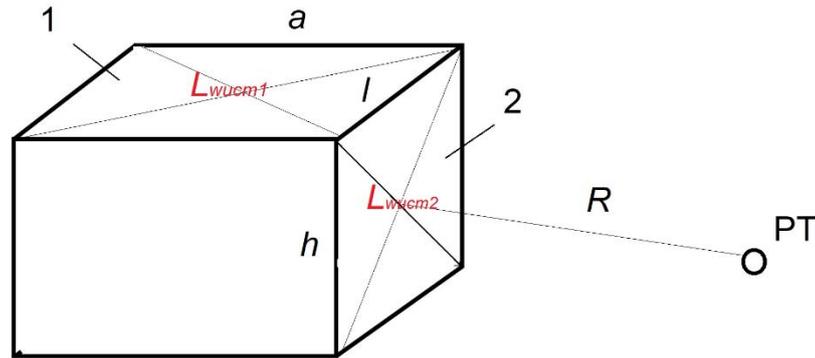


Рисунок 3.2.4.1 – Схема для расчета распространения шума:

1 – первичный плоский источник шума (кровля), 2 – вторичный плоский источник шума (фасад), РТ – расчетная точка

Кровля здания, аппроксимируется как первичный плоский источник шума, сформированный совокупностью точечных источников, звуковая энергия которых при распространении в расчетную точку частично экранируется зданием. С учетом принципа Гюйгенса, вторичным излучателем выступает верхнее ребро здания, которое представляет собой вторичный линейный излучатель конечной длины, равной длине здания  $l$  (м), с шириной, которую примем условно равной 1 м. Акустическая мощность первичного излучателя расположенного на кровле здания определится как:

$$W_1 = I_1 \times l \times 1, \text{ Вт}, \quad (3.13)$$

где  $I_1$  – интенсивность звука на кровле здания, Вт/м<sup>2</sup>;

$l$  – длина ребра здания, м.

Интенсивность звука  $I_1=I_2$  равномерно распределяется по фасаду здания. Акустическая мощность вторичного плоского излучателя, расположенного со стороны расчетной точки, с учетом звукопоглощения кровли здания с длиной  $l$  и высотой  $h$  составит:

$$W_2 = I_1 \times (1 - \alpha_{кр}) \times l \times h \times \beta_{диф}, \text{ Вт}, \quad (3.14)$$

где  $\alpha_{кр}$  – коэффициент звукопоглощения кровли и фасада здания;  
 $\beta_{диф}$  – коэффициент дифракции ( $1/\pi$ ).

Интенсивность звука в расчетной точке, расположенной на расстоянии  $R$  от здания, которое не превышает  $R \leq 0,4\sqrt{S}$ , определится исходя из формулы, разработанной для плоского источника [132], как:

$$I_{PT} = \frac{W_2}{2\pi l h} \operatorname{arctg} \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}}, \text{ Вт/м}^2. \quad (3.15)$$

Подставив (3.13), (3.14) в (3.15) и сделав необходимые сокращения и преобразования, получим:

$$I_{PT} = \frac{W_1(1 - \alpha_{кр})\beta_{диф}}{2\pi l} \operatorname{arctg} \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}}, \text{ Вт/м}^2. \quad (3.16)$$

Разделим обе части на стандартный звуковой порог и прологарифмируем полученное выражение, в результате чего получим окончательный уровень звукового давления для расчетной точки:

$$L_{PT} = L_{W1} + 10 \lg(1 - \alpha_{кр}) + 10 \lg \beta_{диф} - 10 \lg \frac{l}{l_0} + \quad (3.17)$$

$$+ 10 \lg \operatorname{arctg} \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}} - 10 \lg 2\pi$$

где  $l_0 = 1$  м.

При увеличении расстояния от здания до расчетной точки звук в расчетную точку будет излучаться линейным источником, с акустической мощностью:

$$W_2 = I_2 \times l \times 1 \times \beta_{\text{оуф}}, \text{ Вт.} \quad (3.18)$$

Интенсивность звука в расчетной точке, расположенной на расстоянии  $R$  от здания, которое не превышает  $R \leq l/\pi$ , определится по формуле:

$$I_{PT} = \frac{W_2}{2\pi l R} \arctg \frac{l}{2R}, \text{ Вт/м}^2. \quad (3.19)$$

Проведем необходимые преобразования, в результате чего получим окончательный уровень звукового давления для расчетной точки в случае ее удаления от здания на расстояние  $R \leq l/\pi$ :

$$L_{PT} = L_{W1} - 10 \lg \beta_{\text{оуф}} + 10 \lg(1 - \alpha_{\text{кр}}) - 10 \lg \frac{l}{l_0} - 10 \lg \frac{R}{R_0} + \\ + 10 \lg \arctg \frac{l}{2R} - 10 \lg 2\pi, \text{ дБ} \quad (3.20)$$

где  $R_0 = 1$  м.

При дальнейшем увеличении расстояния источник шума примет точечный вид, а его акустическая мощность определится как:

$$W_2 = I_2 \times 1 \times 1 \times \beta_{\text{оуф}}, \text{ Вт.} \quad (3.21)$$

Тогда интенсивность звука в расчетной точке, расположенной на расстоянии  $R$  от здания, которое превышает  $R > 2l$ , определится по формуле:

$$I_{PT} = \frac{W_2}{2\pi R^2}, \text{ Вт/м}^2. \quad (3.22)$$

Проведем необходимые преобразования, в результате чего получим окончательный уровень звукового давления для расчетной точки в случае ее удаления от здания на расстояние  $R > 2l$ :

$$L_{PT} = L_{W1} + 10 \lg \beta_{\text{оуф}} + 10 \lg(1 - \alpha_{\text{кр}}) - 20 \lg \frac{R}{R_0} - 10 \lg 2\pi, \text{ дБ.} \quad (3.23)$$

### 3.3. Теоретические исследования звукового поля, образованного плоским источником

Проведем анализ предлагаемых расчетных формул, описывающих снижение шума при распространении звуковой волны от плоского, линейного и точечного источника соответственно. Для анализа выберем плоский источник, образованный источниками шума на территории предприятия ООО «Белагротерминал», с характеристиками, обеспечивающими граничные условия для расчета представленные в таблице 3.3.1

Таблица 3.3.1. Граничные условия для проведения расчета снижения шума от плоского источника шума

Длина периметра $l_{\text{лин}}, \text{ м}$	Длина (l), м	Высота (h), м	Плоская волна ( $>R$ ), м	Цилиндрическая волна ( $>R$ ), м	Сферическая волна ( $>R$ ), м
700	160	22	24	223	1400

Влияние дифракционных эффектов на снижение шума не зависит от формы волны и учитывается на этапе перехода источника от плоского к цилиндрическому на кромке плоского источника. Для рассматриваемой расчетной схемы при  $\beta_{\text{диф}} = 1/\pi$  величина  $10\lg\beta_{\text{диф}}$  составит минус 5 дБА.

Влияние звукопоглощения подстилающей поверхности играет роль исключительно на ранних этапах формирования звукового поля и характеризуется преимущественно показателями коэффициента звукопоглощения кровли. Величина коэффициента звукопоглощения зависит от физических свойств материала и соответственно имеет разную величину на различных полосах частот, для расчета примем в качестве материала покрытия кровли - резину на бетонной подложке, что даст величину  $10\lg(1-\alpha_{\text{кр}})$  в диапазоне от минус 0,1 до минус 0,6 дБ в зависимости от частоты.

Для проверки предложенной расчетной модели также выполним расчет уровней звука в контрольных точках. Всего в качестве контрольных выбрано

10 расчетных точек, расположенных на границе СЗЗ предприятия и на территории, прилегающей к предприятию жилой застройки, а также совпадающих с контрольными точками, в которых выполняются измерения в рамках реализации процедуры производственного контроля. Сведения о расположении контрольных точек приведены в таблице 3.3.2.

Таблица 3.3.2. Сведения о расположении контрольных точек, относительно промышленного предприятия

№РТ	Место расположения расчетной точки	Высота над уровнем поверхности, м.
КТ-1	На границе СЗЗ (север)/ на границе земельного участка для ведения личного подсобного хозяйства (кадастровый номер № 425682405101000130)	1.5
КТ-2	На границе СЗЗ (северо-восток)	1.5
КТ-3	На границе СЗЗ (северо-восток)	1.5
КТ-4	На границе СЗЗ (юго-восток)	1.5
КТ-5	Территория жилой застройки усадебного типа (д. Ореховка, у д. 67, координаты 54.488446, 26.365634)	1.5
КТ-6	Территория жилой застройки усадебного типа (д. Ореховка, у д. 57, координаты 54.489158, 26.363389)	1.5
КТ-7	На границе СЗЗ (северо-запад)	1.5
КТ-8	Территория жилой застройки усадебного типа (д. Ореховка)	1.5
КТ-9	Территория жилой застройки усадебного типа (г. Сморгонь, ул. Комсомольская, 146А)	1.5
КТ-10	Территория жилой застройки усадебного типа (г. Сморгонь, ул. Богушевича, д. 39)	1.5

При выполнении расчетов также необходимо учесть эффекты экранирования на пути распространения шума от предприятия до контрольных точек КТ-1, КТ-4, КТ-6 и КТ-7.

Результаты расчетов в контрольных точках приведены в таблице 3.3.3. Подробные результаты расчетов представлены в приложении 2.

Таблица 3.3.3. Сравнение результатов измерений и расчетов

№РТ	Место расположения расчетной точки	Уровень звука (дневное время), дБА	Уровень звука по результатам расчетов, дБА	Разница, дБА
КТ-1	На границе СЗЗ (север)/ на границе земельного участка для ведения личного подсобного хозяйства (кадастровый номер № 425682405101000130)	50	53	3
КТ-2	На границе СЗЗ (северо-восток)	49	52	3
КТ-3	На границе СЗЗ (северо-восток)	47	48	1
КТ-4	На границе СЗЗ (юго-восток)	42	44	2
КТ-5	Территория жилой застройки усадебного типа (д. Ореховка, у д. 67, координаты 54.488446, 26.365634)	42	39	3
КТ-6	Территория жилой застройки усадебного типа (д. Ореховка, у д. 57, координаты 54.489158, 26.363389)	39	38	1
КТ-7	На границе СЗЗ (северо-запад)	48	47	1
КТ-8	Территория жилой застройки усадебного типа (д. Ореховка)	42	39	3
КТ-9	Территория жилой застройки усадебного типа (г. Сморгонь, ул. Комсомольская, 146А)	43	44	1

Оценка сходимости результатов расчётов по предложенным формулам с результатами измерений и результатами расчетов по методике ГОСТ 31295.2-2005, реализованными через сертифицированный программный комплекс АРМ «Акустика» версия 3 представлена на рисунке 3.3.2.

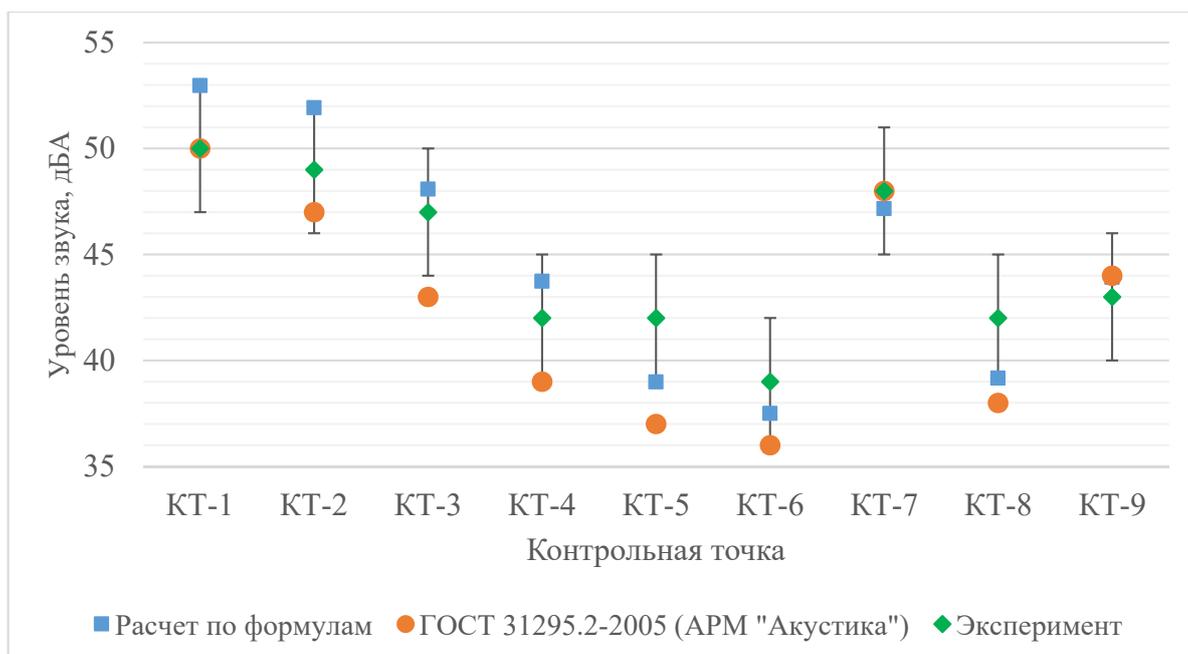


Рисунок 3.3.2 – Оценка сходимости результатов расчетов по предложенным расчетным формулам

Анализ результатов расчетов по предложенным формулам и натурных измерений показывает сходимость в пределах 3 дБА, что классифицируется как удовлетворительный результат. Результаты расчетов по предложенным формулам имеют сопоставимую, а в отдельных точках измерений превосходящую сходимость по сравнению с результатами расчетов по ГОСТ 31295.2-2005.

Дополнительно было проведено сравнение результатов расчетов по предложенным формулам с результатами измерений и результатами расчетов по методике ГОСТ 31295.2-2005, реализованными через сертифицированный программный комплекс АРМ «Акустика» версия 3, для точек измерений, расположенных на различных расстояниях от рассматриваемого производственного объекта. Результаты сравнения представлены на рисунке 3.3.3.

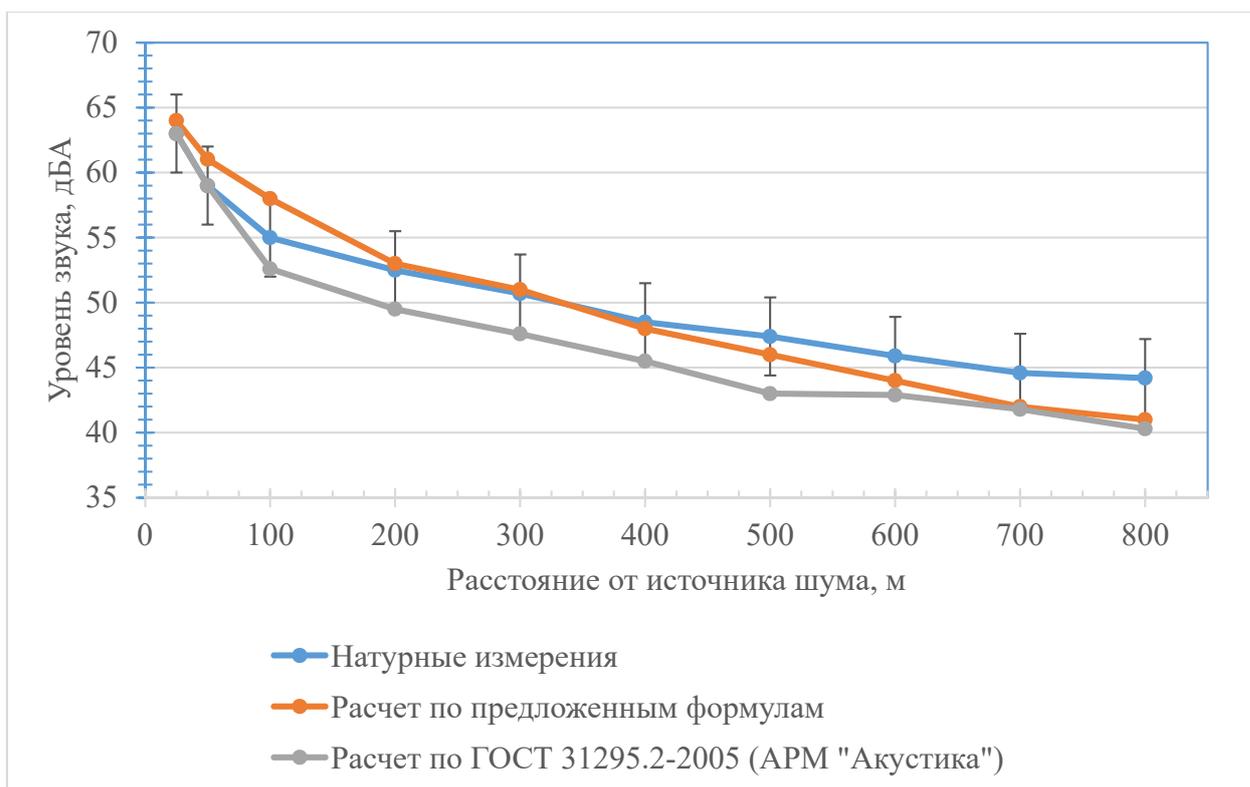


Рисунок 3.3.3 – Оценка сходимости результатов расчетов по предложенным формулам для различных расстояний от источника шума

По результатам анализа результатов, представленных на рисунке 3.3.3, можно сделать следующий заключения:

- 1) Сравнение результатов расчетов уровней звука по предложенным формулам и результатов натуральных измерений показывает удовлетворительную, в пределах  $\pm 3$  дБА, сходимость для расстояний 25 – 800 метров от источника шума;
- 2) Наименьшая разница между результатами измерений и результатами расчетов по предложенным формулам достигнута на расстояниях 200 – 400 метров;
- 3) На расстояниях от 200 до 800 метров от рассматриваемого объекта расчет уровней звука по предложенной методике показывает лучшую точность, чем расчет по методике ГОСТ 31295.2-2005.
- 4) На расстояниях свыше 400 метров результаты расчетов по предложенным в исследовании формулам и по методике ГОСТ 31295.2-2005

меньше, чем результаты натуральных измерений в точках. Можно предположить, что такое отклонение обусловлено отсутствием возможности обеспечить полноценный учёт вклада источников фонового шума при проведении натуральных измерений на местности вблизи действующих промышленных объектов на расстояниях, когда фоновые источники начинают давать значимый вклад в формирование звукового поля в точке.

### **Выводы по главе**

- 1) Сформулированы основные положения и допущения теории.
- 2) Разработана математическая модель распространения шума от промышленного предприятия, аппроксимированного плоским источником.
- 3) Разработаны правила расчета уровней звуковой мощности плоского источника.
- 4) Представлены формулы расчета снижения шума при распространении шума от промышленного объекта на местности.

## **Глава 4. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВНЕШНЕГО ШУМА ПРЕДПРИЯТИЯ**

### **4.1 Шумозащитное зонирование территории вблизи промышленного предприятия**

Для реализации практического применения предлагаемого метода оценки и снижения шума промышленных предприятий предлагается система зонирования территорий.

Необходимость зонирования прилегающих к предприятию территорий обусловлена целесообразностью применения такого метода для обоснованного выбора шумозащитных мероприятий.

Так как уровни звука и уровни звукового давления в точках, расположенных на прилегающих к предприятию территориях имеют известную зависимость от основных параметров плоского источника шума, образованного предприятием, то именно его параметры предлагается использовать для прогнозирования шума на прилегающих территориях.

Согласно представленной в 3 главе настоящего исследования математической модели и формулам по расчету снижения шума при распространении его на местности, основными параметрами, которые оказывают преобладающее влияние на шум в конкретной расчетной точке, являются:

1. уровень звуковой мощности плоского источника шума;
2. расстояние от источника шума до точки наблюдения;
3. линейные размеры источника.

Другие параметры, такие как звукопоглощение подстилающей поверхности, вблизи точечных источников шума, преобразуемых для дальнейших расчетов в плоский источник шума, показатель дифракции и прочие либо изменяются в узких диапазонах, либо хоть и оказывают вклад в формирование звукового поля, но малозначительный.

Предлагаемая методология зонирования территорий, прилегающих к промышленному предприятию базируется на подходе предложенном в [69,136]. Рекомендации предложенные исследователем в [69,136] вводят классификацию стационарных источников шума из 6 классов шумности от «малошумных» до «непереносимо шумных», однако прямое применение приведенных в работах рекомендаций без реализации предварительной оценки вклада каждого из рассматриваемых источников в формирование звукового поля от всего предприятия может привести к нерациональному распределению ресурсов и снижению итоговой результативности шумозащитных мероприятий.

Предлагаемая методология зонирования территорий начинается с внедрения классификации промышленных предприятий по фактору «шумности», исходя из уровней звуковой мощности рассматриваемых предприятий. Классификация предприятий подразумевает присвоение предприятию одного из 4 классов в соответствии с таблицей 4.1.1:

Таблица 4.1.1. Классификация предприятий по шумности

№ п/п	Класс предприятия	Эквивалентный скорректированный уровень звуковой мощности предприятия $L_{WA}$ , дБА
1.	Малошумное	$100 \leq L_{WA} < 110$
2.	Шумное	$110 \leq L_{WA} < 120$
3.	Повышенной шумности	$120 \leq L_{WA} < 130$
4.	Очень шумное	$L_{WA} \geq 130$

Также ввиду влияния линейных размеров аппроксимированного плоского источника шума на условия распространения шума, методология зонирования предполагает также учет данного фактора через наибольший линейный размер  $l_{max}$ , м излучающей части предприятия, то есть части где сгруппированы значимые источники шума.

Система зонирования для прилегающих к промышленному объекту территорий жилой застройки представлена в таблице 4.1.2.

Таблица 4.1.2. Система зонирования территорий, прилегающих к промышленному предприятию на примере жилых объектов

Уровень звуковой мощности предприятия $L_{WA}$ , дБА	Линейный размер плоского источника $l_{max}$ , м	Расстояния от ближайшей границы предприятия до нормируемого объекта R, м				
		100	200	300	400	500
130	$l_{max} \geq 1000$	-	$\Delta L = 18$ дБА	$\Delta L = 16$ дБА	$\Delta L = 15$ дБА	$\Delta L = 14$ дБА
	$600 < l_{max} \leq 1000$	-	-	$\Delta L = 18$ дБА	$\Delta L = 17$ дБА	$\Delta L = 16$ дБА
	$400 < l_{max} \leq 600$	-	-	$\Delta L = 20$ дБА	$\Delta L = 18$ дБА	$\Delta L = 17$ дБА
	$200 < l_{max} \leq 400$	-	-	$\Delta L = 18$ дБА	$\Delta L = 17$ дБА	$\Delta L = 15$ дБА
	$100 < l_{max} \leq 200$	-	-	$\Delta L = 20$ дБА	$\Delta L = 17$ дБА	$\Delta L = 15$ дБА
120	$l_{max} \geq 1000$	$\Delta L = 11$ дБА	$\Delta L = 8$ дБА	$\Delta L = 6$ дБА	$\Delta L = 5$ дБА	$\Delta L = 4$ дБА
	$600 < l_{max} \leq 1000$	$\Delta L = 13$ дБА	$\Delta L = 10$ дБА	$\Delta L = 8$ дБА	$\Delta L = 7$ дБА	$\Delta L = 6$ дБА
	$400 < l_{max} \leq 600$	$\Delta L = 15$ дБА	$\Delta L = 12$ дБА	$\Delta L = 10$ дБА	$\Delta L = 8$ дБА	$\Delta L = 7$ дБА
	$200 < l_{max} \leq 400$	$\Delta L = 18$ дБА	$\Delta L = 14$ дБА	$\Delta L = 8$ дБА	$\Delta L = 7$ дБА	$\Delta L = 5$ дБА
	$100 < l_{max} \leq 200$	-	$\Delta L = 13$ дБА	$\Delta L = 10$ дБА	$\Delta L = 7$ дБА	$\Delta L = 5$ дБА
110	$l_{max} \geq 1000$	$\Delta L = 1$ дБА	+	+	+	+
	$600 < l_{max} \leq 1000$	$\Delta L = 3$ дБА	+	+	+	+

Уровень звуковой мощности предприятия $L_{WA}$ , дБА	Линейный размер плоского источника $l_{max}$ , м	Расстояния от ближайшей границы предприятия до нормируемого объекта R, м				
		100	200	300	400	500
	$400 < l_{max} \leq 600$	$\Delta L = 5$ дБА	$\Delta L = 2$ дБА	+	+	+
	$200 < l_{max} \leq 400$	$\Delta L = 8$ дБА	$\Delta L = 4$ дБА	+	+	+
	$100 < l_{max} \leq 200$	$\Delta L = 10$ дБА	$\Delta L = 3$ дБА	+	+	+
100	$l_{max} \geq 1000$	+	+	+	+	+
	$600 < l_{max} \leq 1000$	+	+	+	+	+
	$400 < l_{max} \leq 600$	+	+	+	+	+
	$200 < l_{max} \leq 400$	+	+	+	+	+
	$100 < l_{max} \leq 200$	+	+	+	+	+
Примечание: «+» - шумозащитные мероприятия на предприятии не требуются; «-» - не рекомендуется размещение жилых объектов в зоне; $\Delta L$ – суммарная эффективность шумозащитных мероприятий на предприятии необходимая для достижения нормативных уровней на территории жилой застройки.						

## 4.2 Снижение шума источников звукоизолирующими кожухами

Применение звукоизолирующих кожухов является одним наиболее эффективных средств снижения шума. На рассмотренных промышленных объектах применялись шумозащитные кожухи для снижения шума от промышленного оборудования и кожухи, оснащенные акустической решеткой для снижения шума крышных вентиляционных систем.

Жесткий шумозащитных кожух на вентиляцию состоит из 2 основных элементов:

- ограждающие поверхности (стенки) из шумозащитных панелей, представляющие собой звукоизолирующую конструкцию со

звукопоглощающим материалом закрытым перфорированной стенкой на стороне панели обращенной к источнику шума, например, панель типа ШП-к4-НхL (по ТУ 25.99-002-4705102383-2024);

- акустическая решетка, например решетка типа РЖШ(1)-200 (по ТУ 25.99 001 4705102383-2024), обеспечивающая необходимый воздухообмен, с рядом звукопоглощающих элементов, расположенных на пути движения потока воздушных масс, то есть на пути излучения основного количества звуковой энергии излучаемой вентиляционной системой. Для кожухов, располагаемых на крышах, проемы акустических решеток в конструкции кожуха, размещаются с противоположной от защищаемого объекта стороны.

Обязательным условие является то, чтобы звукоизоляция панелей, применяемых для создания корпуса кожуха была больше величины шумоподавления акустической решетки.

Пример исполнения шумозащитного кожуха для крышной вентиляционной системы представлен на рисунке 4.2.1.



Рисунок 4.2.1 – Внешний вид конструкции шумозащитного кожуха для снижения шума крышной вентиляционной системы

Акустические решетки состоят из несущего корпуса, представляющего собой жесткую рамку по периметру с монтажными отверстиями, и поперечных жалюзи, выполняемые из оцинкованной стали. Жалюзийные решетки располагаются в корпусе с наклоном под углом  $45^\circ$ . Ламели акустической решетки наполняются звукопоглощающим материалом и для предотвращения разрушению и выпадению звукопоглощающего материала с нижней части закрыты перфорированными панелями. Общий вид типовой акустической решетки представлен на рисунке 4.2.2.

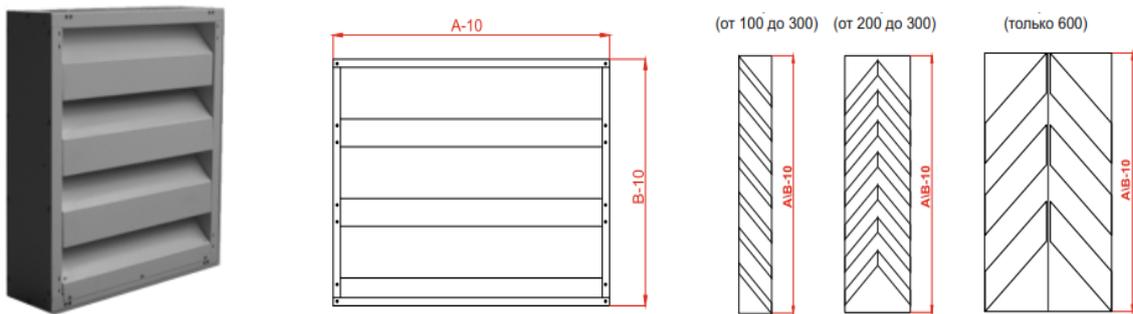


Рисунок 4.2.2 – Варианты исполнения акустических решеток на вентиляцию

Эффективность предложенного мероприятия при соблюдении указанных выше требований к конструкции по большей части обусловлена звукоизолирующими свойствами акустической решетки и может достигать для значимых частот: 6 дБ на 250 Гц, 10 дБ на 500 Гц, 12 дБ на 1000 Гц, и 17 дБ на 2000 Гц.

### 4.3 Снижение шума источников акустическими экранами

Снижение шума акустическими экранами, в современной практике классифицируется как средство снижения шума на пути распространения. Одним из главных достоинств данного мероприятия является высокая эффективность по снижению шума на пути распространения, также существенным достоинством является большое количество точных методов расчета эффективности данного мероприятия. К сожалению существенные

ограничения имеющиеся у данного средства снижения шума, такие как повышенные требования к грунту, чувствительность к ветровым нагрузкам, чрезвычайно низкая эффективность при расположении источников шума выше уровня земли, высокая масса и существенная стоимость приводят к сильному сужению области применения, в том числе для снижения шума от промышленных предприятий.

При рассмотрении данного мероприятия для снижения шума от оборудования на территории промышленных предприятий существует 2 подхода:

1) Применение акустических экранов для снижения шума от линейных источников, таких как линии железнодорожного транспорта и автодороги, проходящие по территории промышленного предприятия;

2) Применение акустических экранов для снижения шума одиночных стационарных источников шума или групп таких источников, при отсутствии возможности снижения шума иными средствами, например, глушителями и шумозащитными кожухами по тем или иным причинам.

В первом случае акустический экран устанавливается вдоль линейного источника шума между источником шума и защищаемым объектом, как можно ближе к источнику.

Во втором случае акустический экран устанавливается между источником шума и защищаемым объектом максимально близко к источнику или вокруг источника или источников шума образуя замкнутый контур или иные формы, например, П-образный или Г-образный (в проекции сверху).

#### **4.4 Снижение шума источников диссипативными глушителями**

В работе рассмотрены мероприятия, снижающие шум в источнике возникновения – применение глушителей шума и изменение направленности источника шума.

Изменение направленности источника шума целесообразно для снижения шума от вентиляционных и аспирационных систем, а также от компрессорного оборудования и дизельных генераторов. При реализации данного метода изменяется направленность выпускных патрубков оборудования. Особенность данного метода заключается в его низкой стоимости и трудоемкости, однако оно не приводит к снижению интенсивности излучения звука в источнике, а только перенаправляет его, то есть позволяет добиться снижения в жилой застройке, но при этом приводит к росту уровней звука на других участках. Эффективность данного мероприятия может достигать 5 дБА.

Определение фактора направленности источника на практике чрезвычайно затруднительно, реализуемы методы определения фактора направленности исходя из характера конструкции и сравнения с объектами-аналогами, представленными в нормативно-технической документации, а также косвенный метод, который позволяет оценить фактор направленности по результатам измерений уровней звукового давления на измерительной поверхности по методам применяемым для определения уровней звуковой мощности рассмотренным в главе 2 диссертационного исследования, таким как ГОСТ ISO 3744 [123].

Применение глушителей шума также является эффективной мерой для снижения шума от вентиляционных и аспирационных систем, а также от компрессорного оборудования и дизельных генераторов. Подходящие для применения на промышленных предприятиях глушители это трубчатые и пластинчатые диссипативные глушители, а также пневматические глушители.

Эффективность данного мероприятия может достигать значений до 15 дБА для трубчатых и пластинчатых глушителей шума и до 20 дБА для пневматических глушителей [136].

#### **4.5 Методика выбора шумозащитных мероприятий для промышленных предприятий**

Важно помнить, что на выбор шумозащитных мероприятий помимо рассмотренных в главе 3 параметров плоского источника шума значимое влияние будет оказывать также тип источников шума, вносящих наибольший вклад в формирование звукового поля, создаваемого предприятием. Однако если обратиться к результатам измерений и наблюдений, представленных в главах 1 и 3 настоящего исследования, можно обратить внимание что номенклатура источников шума у большинства промышленных предприятий является достаточно однородной и значит предложенная методика зонирования будет актуальна для преобладающего большинства предприятий.

Таким образом основным принципом выбора шумозащитных мероприятий является то, что в первую очередь снижаются источники шума вносящие наибольший вклад в формирование звукового поля, то есть обладающие наибольшей мощностью.

Также при выборе шумозащитных мероприятий необходимо руководствоваться правилом, что предпочтение отдается шумозащитным конструкциям которые могут самостоятельно обеспечить снижение шума на территории защищаемого объекта, а если реализация этого принципа невозможна, тогда вместо одного средства защиты рекомендуется разработка комплекса мероприятий.

Предпочтение отдается мероприятиям, направленным на снижение шума в источнике образования, затем мероприятиям, обеспечивающим снижение шума на пути распространения, и в последнюю очередь в источнике защиты. Такой подход минимизирует время на согласование и внедрение шумозащитных мероприятий, а за счет приоритизации мероприятий по снижению шума в источнике достигается снижение шума на всей прилегающей территории, что может потенциально привести к уменьшению санитарно-защитной зоны предприятия.

Требуемая эффективность шумозащитных конструкций определяется исходя из анализа имеющихся превышений нормируемых уровней на территории защищаемого объекта. Подбор мероприятий осуществляется в порядке уменьшения величины вклада источника шума в формирование суммарной звуковой мощности предприятия, т.е. в первую очередь осуществляется снижение шума от источников наибольшей мощности.

Исходя из анализа источников шума на рассматриваемых промышленных объектах применяется следующая разбивка приоритетности применения шумозащитных мероприятий:

- 1) Глушители шума для снижения шума вентиляционных, аспирационных, компрессорных систем и дизельных генераторных установок;
- 2) Шумозащитные кожухи для снижения шума от технологического оборудования и вентиляционного оборудования;
- 3) Применение звукоизолирующих мягких облицовок при невозможности или нецелесообразности применения шумозащитных кожухов из сталей со звукопоглощением на внутренней стороне кожуха;
- 4) Применение акустических экранов для снижения шума от линейных объектов, например, транспортных систем предприятия (железнодорожного транспорта), и в ряде случаев для ограждения производственных площадок.

Определение акустической эффективности конструкций шумозащиты выполняется в два этапа:

- этап оценки эффективности запланированного комплекса шумозащитных мероприятий по результатам расчётов;
- этап оценки эффективности по результатам контрольных испытаний после реализации комплекса мероприятий или его части.

Критерием эффективности комплекса мероприятий является достижение целевых значений нормируемых параметров на территории защищаемых объектов. Контрольные расчеты и измерения производятся в тех

же точках, в которых проводились исследования по результатам которых были определены превышения над нормативным уровнем.

Контрольные расчеты выполняются той же методике по которой выполнялись расчеты прогнозируемых уровней шума на территории защищаемого объекта до реализации шумозащитных мероприятий.

Оценка эффективности шумозащитных мероприятий после их реализации необходимо проводить путем проведения измерений в контрольных точках, сравнении полученных результатов с расчетной эффективностью шумозащитных мероприятий и сравнение с нормативными значениями.

При проведении измерений необходимо соблюдение повторяемости условий проведения измерений, в том числе режимов работы оборудования. Если выполнение данного требования невозможно, то необходимо оценить степень влияния отклонения условий проведения измерений от изначальных и при необходимости выполнить повторный расчет распространения шума от предприятия, который будет учитывать изменившиеся условия.

Дополнительную информацию по эффективности шумозащитных мероприятий в источнике возникновения можно получить, проведя повторные измерения для определения уровней звуковой мощности источников шума, что позволяет оценить фактическое снижение звуковой мощности отдельного оборудования в том числе корректность предоставленных производителем сведений по заявленной эффективности мероприятия и корректности выполнения монтажа, а также оценить влияние отдельного мероприятия на эффективность всего комплекса мероприятий.

#### **4.6 Результаты применения методики выбора шумозащитных мероприятий для действующего промышленного предприятия**

В рамках реализации работы по снижению шума на границе санитарно-защитной зоны производственно-логистического комплекса по глубокой

переработке маслосодержащих культур: ЗАО «Содружество-Соя», АО «Агропродукт», АО «Терминал», ООО «СОДРУЖЕСТВО-ПРОТЕИН» - расположенный по адресу: Калининградская обл., г. Светлый, ул. Гагарина, д. 65 была реализована предложенная в настоящем исследовании методика выбора шумозащитных мероприятий для снижения сверхнормативного воздействия на прилегающие к предприятию нормируемые территории и объекты.

Для определения целесообразности реализации шумозащитных мероприятий были выполнены измерения уровней звука и уровней звукового давления в дневное и ночное время суток в контрольных точках вблизи предприятия.

Результаты измеренных уровней звука и уровней звукового давления от работы оборудования на территории приведены в таблице 4.6.1.

Таблица 4.6.1. Результаты натурных замеров на границе СЗЗ в дневное и ночное время суток.

№ точки	Описание	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Лэкв., дБА	Лмакс., дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
<b>Дневное время суток</b>												
КТ-1СП	Точка контроля №1	66	63	52	43	44	46	43	36	31	50	50
КТ-2СП	Точка контроля №2	66	64	49	43	39	40	31	26	26	44	44
КТ-3СП	Точка контроля №3	59	56	46	38	38	37	29	28	26	41	41
КТ-4СП	Точка контроля №4	56	55	51	46	40	40	35	28	27	44	44
КТ-5СП	Точка контроля №5	56	54	51	46	45	42	38	30	27	47	47
КТ-6СП	Точка контроля №6	64	62	52	44	41	42	33	25	26	45	46
<b>Допустимые уровни шума в дневное время СанПиН 1.2.3685-21 табл. 5.35. позиция 14 с 7.00 – 23.00</b>		<b>90</b>	<b>75</b>	<b>66</b>	<b>59</b>	<b>54</b>	<b>50</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>55</b>	<b>70</b>

№ точки	Описание	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Lэкв., дБА	Lмакс., дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
<b>Ночное время суток</b>												
КТ-1СП	Точка контроля №1	61	63	53	47	41	<b>45</b>	<b>38</b>	24	15	<b>48</b>	48
КТ-2СП	Точка контроля №2	63	63	52	45	44	<b>41</b>	32	22	17	<b>46</b>	46
КТ-3СП	Точка контроля №3	61	55	47	41	40	40	31	20	15	43	43
КТ-4СП	Точка контроля №4	60	58	52	46	44	<b>43</b>	<b>38</b>	27	16	<b>47</b>	47
КТ-5СП	Точка контроля №5	56	57	50	42	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>39</b>	27	17	<b>47</b>	47
КТ-6СП	Точка контроля №6	61	59	45	38	40	38	30	21	15	42	42
<b>Допустимые уровни шума в ночное время СанПиН 1.2.3685-21 табл. 5.35. позиция 14 с 23.00 – 07.00</b>		<b>83</b>	<b>67</b>	<b>57</b>	<b>49</b>	<b>44</b>	<b>40</b>	<b>37</b>	<b>35</b>	<b>33</b>	<b>45</b>	<b>60</b>

Анализ таблицы 4.6.1 показывает, что превышения уровней звукового давления и уровней звука в дневное время суток не выявлено, а в ночное время суток, что превышения уровней звукового давления и уровней звука отмечены:

- в точке КТ-1СП для октавных полос частот 1000 Гц (на 5 дБ), 2000 Гц (на 1 дБ) и уровней звука на 3 дБА;
- в точке КТ-2СП для октавных полос частот 1000 Гц (на 2 дБ) и уровней звука на 1 дБА;
- в точке КТ-4СП для октавных полос частот 1000 Гц (на 3 дБ), 2000 Гц (на 1 дБ) и уровней звука на 2 дБА;
- в точке КТ-5СП для октавных полос частот 500 Гц (на 1 дБ), 1000 Гц (на 4 дБ), 2000 Гц (на 2 дБ) и уровней звука на 2 дБА.

По результатам измерений определен характер шума во всех точках измерений на территории – постоянный, широкополосный без тональной или импульсной составляющей.

Графическое отображение результатов измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот для точки контроля КТ-1СП в ночное время суток при работе оборудования на территории предприятия представлены на рисунке 4.6.1.

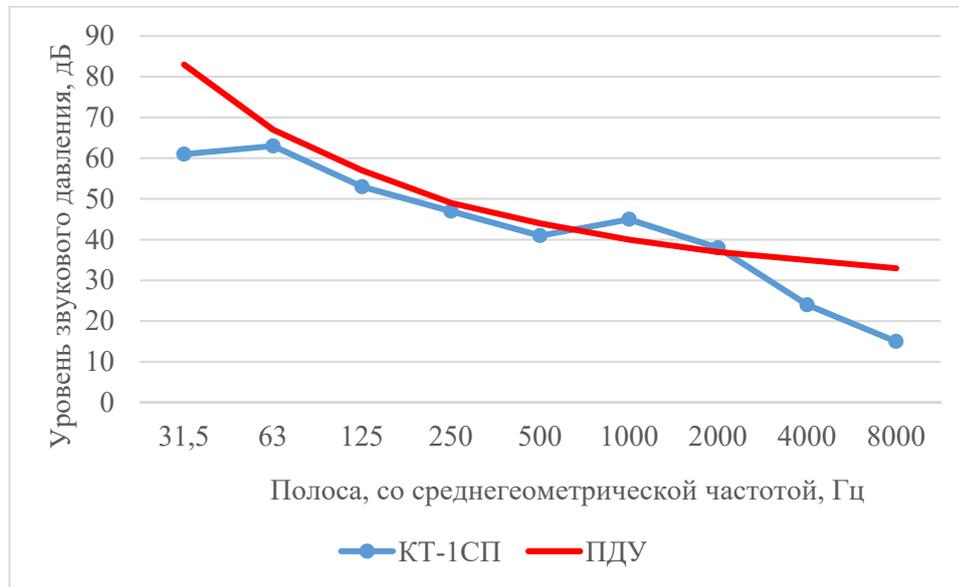


Рисунок 4.6.1 – Результаты измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот на границе СЗЗ для точки контроля №КТ-1СП в ночное время суток при работе предприятия

Результаты анализа показывают, что имеется характерное превышение уровней звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц, и превышение на меньшую величину на частоте 2000 Гц, а уровни на частотах 63 – 500 Гц вплотную приближаются к нормативным уровням, но не превышают их.

Графическое отображение результатов измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот для точки контроля №КТ-2СП в ночное время суток при работе оборудования на территории предприятия представлены на рисунке 4.6.2.

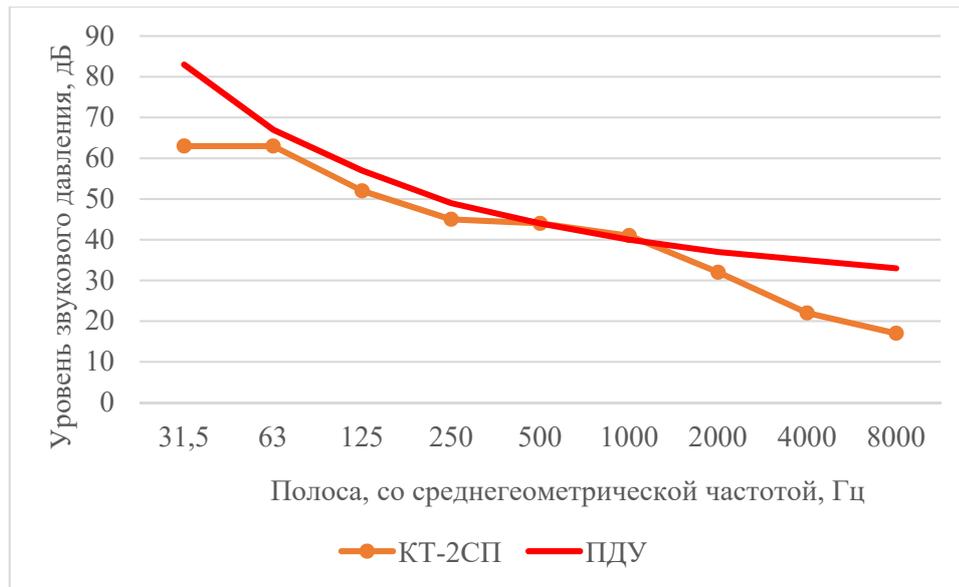


Рисунок 4.6.2 – Результаты измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот на границе СЗЗ для точки контроля №КТ2-СП в ночное время суток при работе предприятия

Результаты анализа показывают, что имеется характерное увеличение уровней звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц, уровень звукового давления на частоте 500 Гц вплотную приближается к нормативному, но не превышает его.

Графическое отображение результатов измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот для точки контроля №КТ-4СП в ночное время суток при работе оборудования на территории предприятия представлены на рисунке 4.6.3.

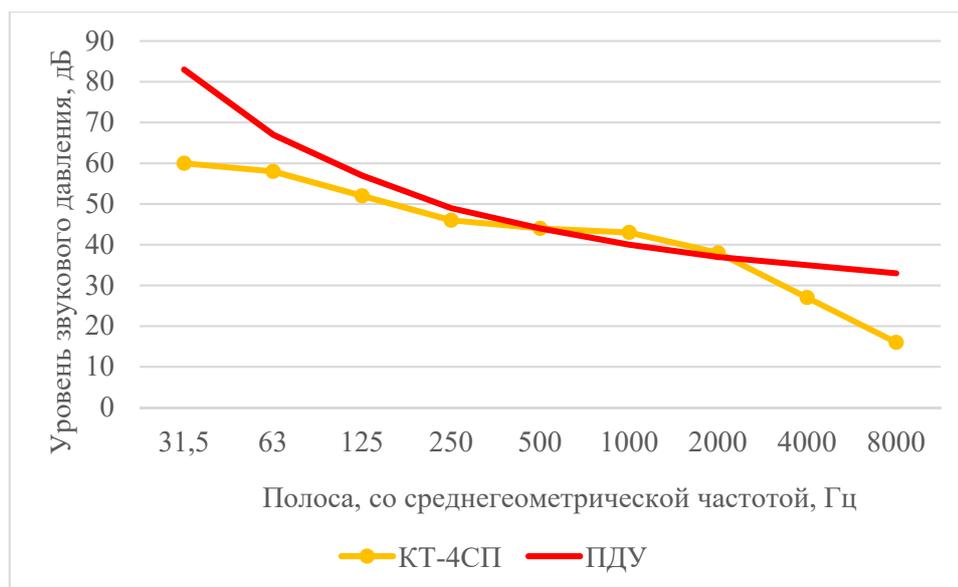


Рисунок 4.6.3 – Результаты измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот на границе СЗЗ для точки контроля №КТ-4СП в ночное время суток при работе предприятия

Результаты анализа показывают, что имеется характерное превышение уровней звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц, и превышение на меньшую величину на частоте 2000 Гц, а уровни звукового давления на частотах 250 и 500 Гц вплотную приближаются к нормативным уровням, но не превышают их.

Графическое отображение результатов измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот для точки контроля №КТ-5СП в ночное время суток при работе оборудования на территории предприятия представлены на рисунке 4.6.4.

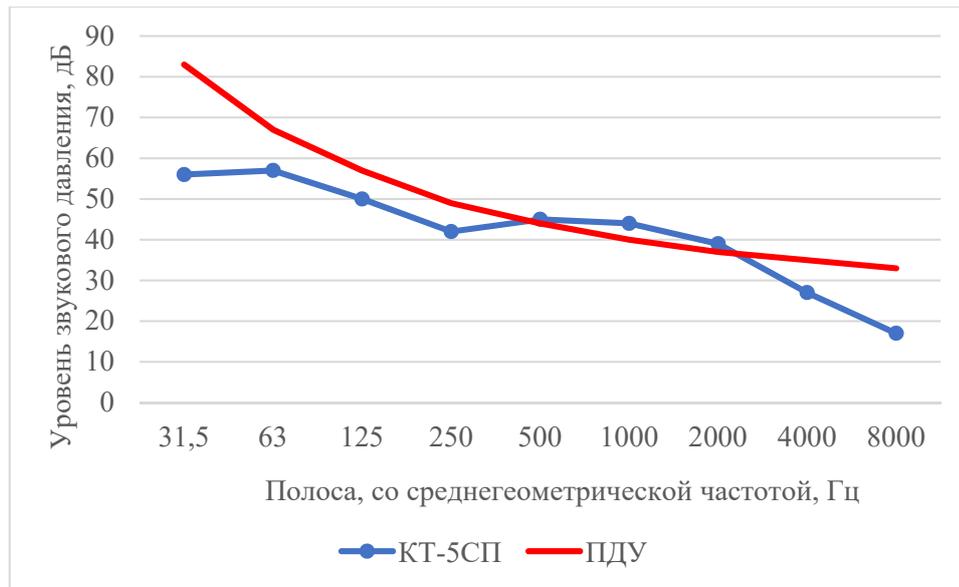


Рисунок 4.6.4 – Результаты измерений уровней звукового давления в октавных полосах частот на границе СЗЗ для точки контроля №КТ-5СП в ночное время суток при работе предприятия

Результаты анализа показывают, что имеется наибольшее превышение уровней звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц, а также имеются превышения на частотах 500 и 2000 Гц.

Анализ графических материалов позволяет дать следующие выводы:

- 1) на границе санитарно-защитной зоны предприятия имеются превышения по фактору шума по уровням звукового давления в частотном диапазоне от 500 до 2000 Гц, а наибольшие превышения зафиксированы на октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц;
- 2) уровни звукового давления в частотном диапазоне 63-250 Гц также часто вплотную приближаются к нормативным значениям в большинстве контрольных точек;
- 3) уровни звукового давления в полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 4000, 8000 Гц не приближаются к нормативной кривой во всех точках измерений и рассмотрение этих частотных диапазонов

нецелесообразно при дальнейшем анализе и разработке шумозащитных мероприятий.

Следующим этапом работ было проведение инвентаризации источников шума на территории предприятия. Согласно предоставленным данным об источниках шума на территории объекта определены основные группы исследуемых источников шума и по окончании проведения инвентаризации было выявлено 194 основных источника шума на территории предприятия из которых:

- шум, создаваемый при работе вентиляционных (приток, вытяжка) и аспирационных систем – 124 шт.;
- шум, создаваемый при работе деаэраторов – 2 шт.;
- шум, создаваемый при работе норий и конвейеров – 23 шт.;
- шум, создаваемый при работе иного оборудования на территории предприятия – 17 шт.;
- шум, создаваемый движением железнодорожного транспорта – 28 шт. (участков путей).

После выполнения инвентаризации источников шума было выполнено определение характеристик аппроксимированных плоских источников шума: исходя из взаимного расположения точечных источников шума в соответствии с предложенным в работе подходом было определено что на территории предприятия целесообразно аппроксимировать точечные источники шума 3 плоскими, а также выделить и выполнять расчет от одного линейного источника – железной дороги на территории предприятия.

Для каждого аппроксимированного источника шума было выполнено определение значимых точечных источников шума и по результатам проведения отбора источников по предложенному в разделе 3.1 подходу в состав первого аппроксимированного источника вошли 26 источников (отсеяно 49 источников), во второй аппроксимированный плоский источник

вошли 38 источников (отсеяно 22 источников) и в аппроксимированный плоский источник № 3 вышли 7 точечных источников шума и отсеяно 11.

Для аппроксимированных плоских источников были определены следующие параметры:

1) плоский источник № 1: характеристическая высота 26 м, длина 279 метров, ширина 176 метров, эквивалентный корректированный уровень звуковой мощности 120,8 дБА;

2) плоский источник № 2: характеристическая высота 28 м, длина 133 метров, ширина 83 метров, эквивалентный корректированный уровень звуковой мощности 121,8 дБА;

3) плоский источник № 3: характеристическая высота 30 м, длина 130 метров, ширина 40 метров, эквивалентный корректированный уровень звуковой мощности 115,4 дБА.

Далее был произведен расчет уровней шума создаваемых аппроксимированными плоскими и линейным источниками в контрольных точках измерений. Сходимость результатов расчета с результатами измерений составила 3 дБА, что является удовлетворительным результатом.

После выполнения расчета уровней в контрольных точках, были определены вклады аппроксимированных плоских источников шума в формирование звукового поля для каждой расчетной точки, и определена величина снижения уровней звуковой мощности для достижения нормативных значений в каждой точке. Определен набор источников оказывающих основной вклад в формирование звуковой мощности аппроксимированных источников: всего определено 27 источников шума, для которых была рекомендована разработка шумозащитных мероприятий, из них 11 источников шума, отнесенных к группе аспирационных систем, 11 источников шума к группе вентиляционных систем, 3 двигательных установки норий, 1 конвейер и градирни.

В соответствии с рекомендациями, представленными в разделе 4.5 настоящего исследования для всех представленных источников шума разработаны шумозащитные мероприятия:

1) для труб аспирации рекомендована установка диссипативных глушителей обеспечивающих снижение шума на значимых частотах (250-2000 Гц) в размере не менее чем 5 дБ, что предложенные глушители типов CSA, CSR, CSD или пластинчатых для соответствующего сечения трубопроводов обеспечивают с минимум двухкратным запасом.

2) для крышных вентиляторов вентсистем рекомендована замена имеющихся типов вентиляторов на их малошумный вариант в соответствии с каталогами производителей. Их эффективность на значимых частотах согласно паспортам, на изделия составляет от 6 дБ на частоте 250 Гц с ростом эффективности до 19 дБ на 2000 Гц, что обеспечит достаточное снижение шума излучаемого вентиляторами на всех значимых частотах.

3) для снижения шума от двигательных установок рекомендована установка звукоизолирующих кожухов. По результатам расчета рекомендован кожух с панелями, изготовленными из листа стали толщиной 0,4 мм с нанесенным с внутренней стороны звукопоглощающим материалом толщиной не менее 75 мм и плотностью 40 кг/м<sup>3</sup>. Для обеспечения притока воздуха к жвигательной установке рекомендована установка на воздухозаборный канал в кожухе глушителя типа ГВ-С (акустическая вентиляционная решетка), которая согласно паспортным данным обеспечит снижение излучаемого шума от 5 дБ на частоте 250 Гц с ростом эффективности до 16 дБ на частоте 2000 Гц, что обеспечивает необходимое снижение во всем значимом диапазоне частот.

4) для снижения шума градирни рекомендована установка прямого акустического экрана в ближнем поле от источника протяженностью 18 м и высотой 3,5 м. Для снижения эффекта переотражения между отражающими поверхностями и шумозащитным экраном рекомендовано применение со стороны экрана обращенной к источнику панелей со звукопоглощающим

материалом и закрытой перфорированным листом. Коэффициент звукопоглощения применяемого материала согласно [137] должен быть не менее представленного в таблице 4.6.2.

Таблица 4.6.2. Требования к звукопоглощению

Наименование параметра	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах, со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Rd	0,3	0,5	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5

5) для снижения шума конвейера рекомендовано применение звукоизолирующего кожуха из тонколистовой оцинкованной стали толщиной не менее 1 мм с нанесением звукопоглощающей облицовки на внутренней стороне кожуха толщиной не менее 5 мм или кожуха изготовленного из эластомерных материалов типа K-FONIK ST GK+IN CLAD обеспечивающего суммарную звукоизоляцию от 5 до 19 дБ на значимых частотах (250-2000 Гц).

После внедрения шумозащитных мероприятий на территории производственного комплекса были произведены повторные измерения шума в контрольных точках на территории защищаемых объектов. Сравнение результатов измерений в контрольных точках представлено в таблице 4.6.3.

Таблица 4.6.3. Сравнение результатов измерений

№ точки	Описание	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Lэкв., дБА	Lмакс., дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Ночное время суток. До внедрения мероприятий												
КТ-1СП	Точка контроля №1	61	63	53	47	41	<b>45</b>	<b>38</b>	24	15	<b>48</b>	48
КТ-2СП	Точка контроля №2	63	63	52	45	44	<b>41</b>	32	22	17	<b>46</b>	46
КТ-3СП	Точка контроля №3	61	55	47	41	40	40	31	20	15	43	43
КТ-4СП	Точка контроля №4	60	58	52	46	44	<b>43</b>	<b>38</b>	27	16	<b>47</b>	47
КТ-5СП	Точка контроля №5	56	57	50	42	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>39</b>	27	17	<b>47</b>	47
КТ-6СП	Точка контроля №6	61	59	45	38	40	38	30	21	15	42	42
Ночное время суток. После внедрения мероприятий												
КТ-1СП	Точка контроля №1	61	54	50	45	43	37	31	19	18	43	44
КТ-2СП	Точка контроля №2	64	58	51	44	40	37	27	16	15	42	43

№ точки	Описание	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Lэкв., дБА	Lмакс., дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
КТ-3СП	Точка контроля №3	62	53	47	40	40	38	30	18	16	42	42
КТ-4СП	Точка контроля №4	64	54	48	45	38	37	33	29	25	42	42
КТ-5СП	Точка контроля №5	61	51	36	29	27	24	20	17	16	31	31
КТ-6СП	Точка контроля №6	62	53	42	43	43	37	31	20	15	43	43
<b>Допустимые уровни шума в ночное время СанПиН 1.2.3685-21 табл. 5.35. позиция 14 с 23.00 – 07.00</b>		<b>83</b>	<b>67</b>	<b>57</b>	<b>49</b>	<b>44</b>	<b>40</b>	<b>37</b>	<b>35</b>	<b>33</b>	<b>45</b>	<b>60</b>

Сравнение результатов измерений в контрольных точках в которых были выявлены превышения до и после внедрения шумозащитных мероприятий приведены на рисунках 4.6.5 – 4.6.8.

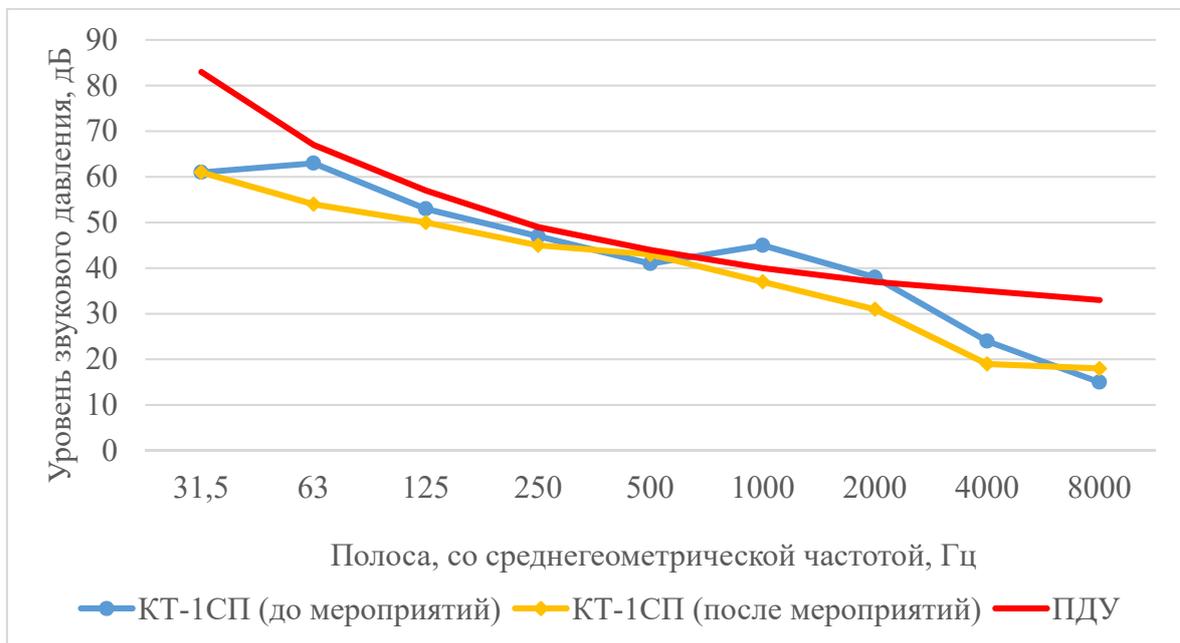


Рисунок 4.6.5 – Результаты измерений уровней звукового давления в КТ-1СП

Анализ результатов измерений в контрольной точке № КТ-1СП демонстрирует снижение уровней звукового давления на

среднегеометрических частотах 1000 и 2000 Гц, на которых ранее были выявлены превышения.

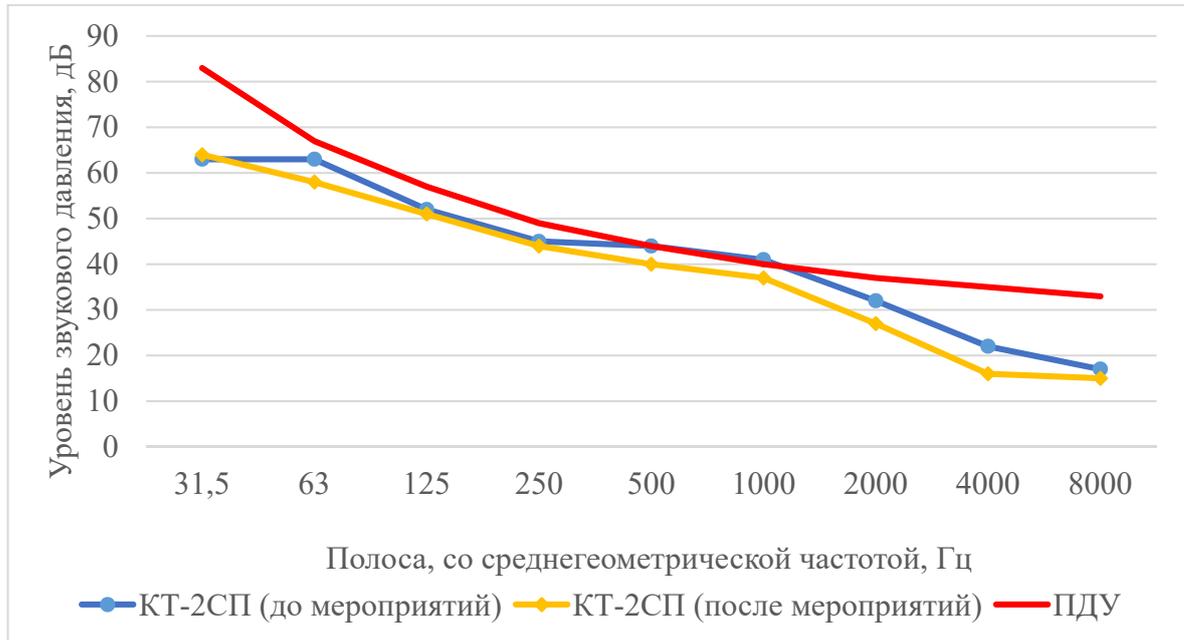


Рисунок 4.6.6 – Результаты измерений уровней звукового давления в КТ-2СП

Анализ результатов измерений в контрольной точке № КТ-2СП демонстрирует равномерное снижение уровней звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 250 до 4000 Гц. Измеренные уровни не превышают нормативные значения.

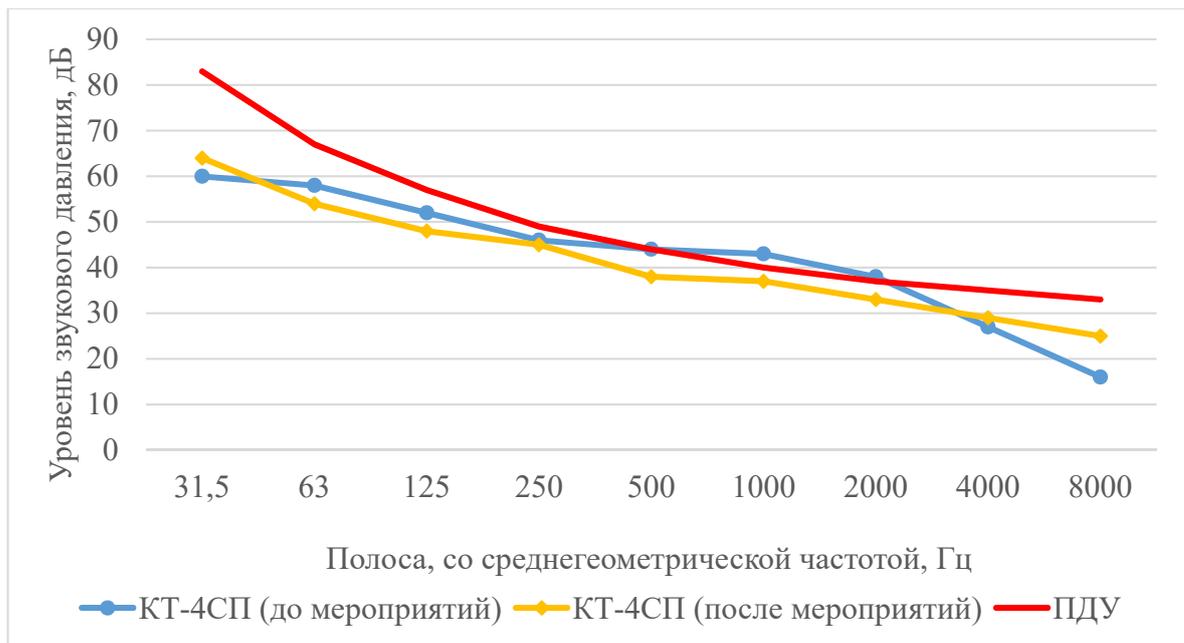


Рисунок 4.6.7 – Результаты измерений уровней звукового давления в КТ-4СП

Анализ результатов измерений в контрольной точке № КТ-4СП демонстрирует равномерное снижение уровней звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 250 до 2000 Гц. Измеренные уровни во всем рассматриваемом диапазоне не превышают нормативные значения.

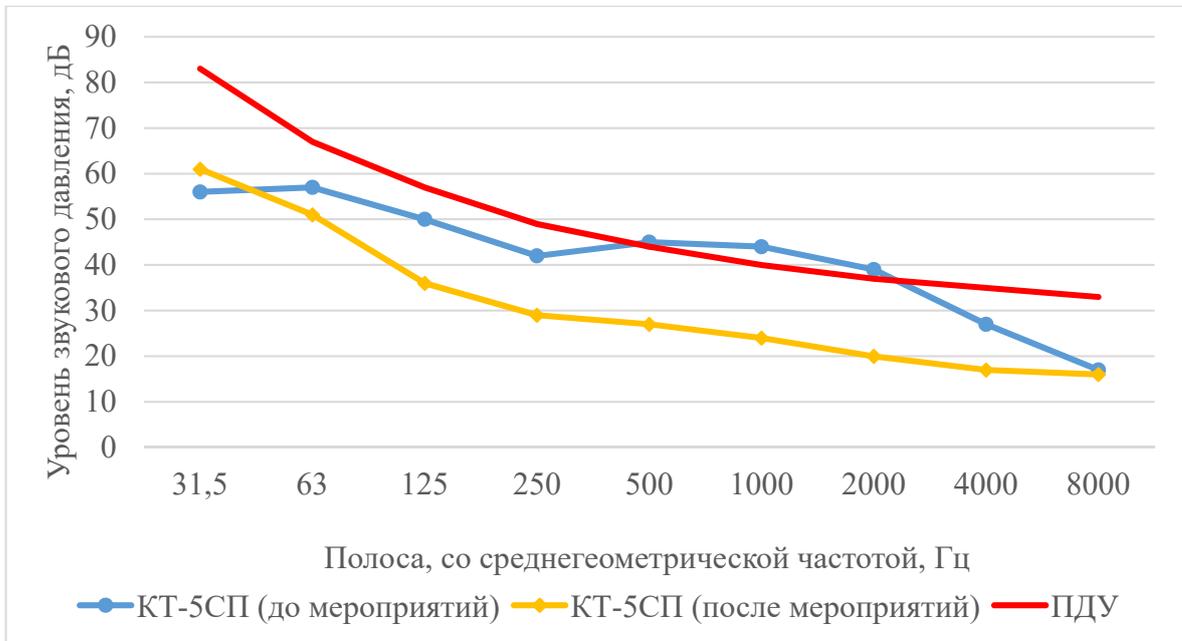


Рисунок 4.6.8 – Результаты измерений уровней звукового давления в КТ-5СП

Результаты измерений в контрольной точке № КТ-5СП не показательны, ввиду внесения значительных изменений в технологический процесс при подготовке предприятия к технологическому перевооружению.

Анализ результатов измерений показывает, что после реализации комплекса шумозащитных мероприятий по предложенному в работе подходу к оценке, расчету распространения и разработке шумозащитных мероприятий, шум во всех контрольных точках на территории защищаемого объекта снижен до нормативных значений.

#### 4.7 Апробация результатов исследования

Апробация результатов исследования выполнена при помощи их использования при осуществлении работ:

1) По разработке мероприятий по снижению уровня шума на границе СЗЗ ООО «Белагротерминал» (с учетом существующего положения и проектируемых объектов), расположенного по адресу: Республика Беларусь, Гродненская обл., г. Сморгонь, ул. Логистическая, 4, к. 15.

2) По определению фактической эффективности шумозащитных мероприятий и разработке мероприятий по снижению уровня шума на границе санитарно-защитной зоны Производственно-логистического комплекса ГК «Содружество», расположенного по адресу: Калининградская обл., г. Светлый, ул. Гагарина, д. 65.

По разработанным в настоящем исследовании подходам и методикам для представленных предприятий был выполнен полный комплекс необходимых расчетов и измерений, определены необходимые величины снижения шума на территории защищаемых объектов, разработан комплекс шумозащитных мероприятий. Для производственно-логистического комплекса ГК «Содружества», результаты повторных исследований, проведенных после внедрения шумозащитных мероприятий, продемонстрировали эффективность предложенных в работе подходов.

### **Выводы по главе**

1) Выполнены расчеты затухания звука от промышленного предприятия по предложенной в 3 главе методике.

2) Разработана система зонирования территорий, прилегающих к промышленным предприятиям.

3) Разработаны методические указания по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного воздействия промышленных объектов на селитебные территории.

4) Выполнена апробация предложенных методик определения уровней звуковой мощности предприятия, распространения шума на местности и выбора шумозащитных мероприятий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования была решена научная задача в области акустики и достигнуты цели, имеющие существенное значение для сокращения сроков выполнения работ по прогнозированию шума, создаваемого как действующими, так и проектируемыми предприятиями, на прилегающие территории. Это стало возможным за счёт реализации нового подхода к расчету распространения шума от промышленного предприятия с множественными источниками шума, который включает в себя математическую модель и расчетную схему описывающие процесс распространения шума от предприятия, аппроксимированного в качестве плоского источника шума, а также расчетные формулы, позволяющие выполнить расчет прогнозируемых уровней в контрольных точках на прилегающей к предприятию территории. Такой подход позволяет выполнять расчет распространения шума от одного плоского источника, а не от множества точечных источников, что приводит к уменьшению ресурсоемкости и трудоемкости расчета. Предложенные и апробированные в ходе проведения исследования правила по определению значимых источников шума на территории предприятия позволили сократить время выполнения расчетов прогнозируемых уровней без потери точности и определить рациональный подход по выбору шумозащитных мероприятий исходя из их эффективности с точки зрения снижения шума на территории защищаемого объекта.

В процессе выполнения работы были получены следующие результаты:

- 1) Рассмотрены применяемые как в отечественной, так и в зарубежной практике, подходы к расчету распространения шума от промышленных предприятий, проведен анализ их достоинств и недостатков. Определено что существенными недостатками применяемого в отечественной и зарубежной практике метода по расчету распространения шум от множества

точечных источников являются высокая ресурсоемкость расчета и необходимость построения сложной компьютерной модели.

2) Разработана методика экспериментальных исследований уровней звуковой мощности источников шума промышленного предприятия и распространения шума от промышленных предприятий. В основу разработанной методики положены существующие подходы и методы к измерению уровней звуковой мощности источников шума и уровней звукового давления в точках на территории нормируемых объектов. Предложенная методика позволяет с удовлетворительной точностью проводить измерения в условиях действующего промышленного предприятия.

3) По разработанной методике измерены уровни звуковой мощности 151 источника шума на территории объекта исследования, эквивалентные скорректированные по А уровни звуковой мощности источников шума составили от 66 до 116 дБА. Выполнены экспериментальные исследования распространения шума от промышленного предприятия в точках измерений, расположенных на расстояниях от 100 до 800 м. Результаты измерений, подтвердили корректность аппроксимации предприятия в качестве плоского источника шума.

4) Разработаны правила определения значимых источников шума, оказывающих существенный вклад в формирование звукового поля промышленного предприятия и исключения малозначимых источников шума из дальнейших расчетов. Применение правил привело к снижению трудозатрат для выполнения расчётов.

5) Разработана математическая модель и расчетные схемы для оценки распространения шума от предприятия как от площадного источника шума. Основной подход заключается в аппроксимации множества точечных источников шума в качестве плоского источника, который затем через вторичный излучатель в виде кромки ребра плоского источника переходит ко вторичному плоскому источнику, расположенному перпендикулярно земле.

После осуществления перехода выполняется расчет распространения шума от вторичного плоского источника с образованием сперва плоской волны, при увеличении расстояния переходящей в квазиплоскую, затем источник рассматривается в качестве линейного с соответствующими правилами снижения шума для цилиндрической и квазичилиндрической волн, и при дальнейшем увеличении расстояния источник рассматривается в качестве точечного с соответствующей ему сферической волной.

6) На основе предложенной математической модели разработаны расчетные формулы, расчет по которым позволяет определить снижение шума от предприятия при распространении его на местности. Проведена верификация математической модели путем выполнения расчетов по предложенным формулам. Результаты расчетов продемонстрировали удовлетворительную, в пределах 3 дБА, сходимость с результатами измерений, что подтвердило состоятельность математической модели и корректность расчётных формул.

7) Разработаны рекомендации по зонированию территорий вблизи промышленных предприятий. В качестве основных параметров, которые учитываются при определении зоны шумового воздействия предприятия, выступают эквивалентный скорректированный по А уровень звуковой мощности и наибольший линейный размер аппроксимированного плоского источника шума, а также расстояние от предприятия до защищаемого объекта. Система зонирования позволяет оценить возможность размещения жилых объектов в зоне шумового воздействия предприятия, и при необходимости оценить требуемую суммарную эффективность шумозащитных мероприятий.

8) Исходя из анализа доступных средств и методов снижения шума, а также характера процессов шумообразования от источников шума на территории предприятия, были разработаны рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий для различных источников шума предприятия. В качестве основных средств снижения внешнего промышленного шума

рекомендованы глушители шума для систем аспирации и отдельных элементов вентиляционных систем, звукоизолирующие кожухи для снижения шума от двигательных и компрессорных установок и иного оборудования, и акустические экраны как средство снижения шума от линейных источников и сконцентрированных групп источников шума на территории предприятия.

9) Проведена апробация предложенных в данной работе моделей, правил и подходов. Апробация выполнена в рамках выполнения работ по разработке шумозащитных мероприятий по снижению сверхнормативного воздействия на прилегающие территории на предприятии ГК «Содружество» в г. Светлый, Калининградской области и на предприятии ООО «Белагротерминал» в г. Сморгонь, Гродненской области, Республики Беларусь. В результате проведённых работ шум в контрольных точках на границе санитарно-защитных зон предприятий был снижен до нормативных значений.

Перспектива дальнейшего исследования темы состоит в разработке математической модели для промышленных предприятий нестандартной формы и с неравномерным распределением источников шума по территории, а также разработки универсальной методики расчета распространения шума от промышленных предприятий всех типов в соответствии с предложенными математическими моделями, правилами и подходами.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2025. – 424 с.
2. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н.И. Иванов. – Москва: Логос, 2010. – 424 с.
3. Безопасность технологических процессов и производств: учебник / под редакцией Н. И. Иванова, И. М. Фаина и Л. Ф. Дроздовой. — Москва: Логос, 2020. – 612 с.
4. Пономарев А.Л. Метод измерения шума и оценка вклада крупного промышленного предприятия в шумовую обстановку селитебной территории / А.Л. Пономарев, Т.С. Уланова, О.А. Молок, А.А. Одегов // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2022. – Т. 30, № 12. – С. 59-65.
5. Плешакова О. В. Снижение шумового воздействия ТЭЦ-5 на жилой объект / О. В. Плешакова, А. С. Слепцова // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: Материалы Международной научно-практической конференции: Электронный ресурс, Омск, 07–09 декабря 2016 года. – Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2016. – С. 1055-1060.
6. Обеспечение экологической безопасности при воздействии физических факторов на производственных площадках химических предприятий / А. В. Васильев, В. О. Бухонов, В. А. Васильев, Ю. П. Терещенко // Башкирский химический журнал. – 2012. – Т. 19, № 5. – С. 52-59. – EDN RTODVZ.
7. Volney Bulteau. The Effects of Industrial Noise // The Medical Journal of Australia. 1978. Vol 2. No. 11. pp. 519-523.
8. Горбунова, О. А. Оценка эффективности комплекса технических решений повышения экологической безопасности функционирования

районных котельных / О. А. Горбунова // Инновационные подходы к решению проблем "Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий на 2015-2030 годы" : Сборник материалов международной научно-практической конференции, Казань, 19–20 октября 2018 года. – Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2018. – С. 243-246.

9. Mia Suhanek. Management of Noise Pollution // Environmental sciences. 2023.

10. Муравьев, В. А. Исследование характеристик шума промышленного оборудования на территории металлургического комплекса / В. А. Муравьев, И. Г. Мадатова // *Металлург*. – 2012. – № 10. – С. 31-34.

11. Саньков, П. Н. Определение шумовых характеристик и построение карты шума промышленного предприятия / П. Н. Саньков, Н. А. Ткач, В. Н. Полторацкая // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. – 2017. – № 4(231-232). – С. 54-61.

12. Защита жилой застройки от шума расширенной по мощности ТЭЦ Москвы / В. П. Гусев, А. В. Сидорина, В. И. Леденев, И. В. Матвеева // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. – 2021. – № 6(1042). – С. 10-12.

13. Пузырев, Н. М. Решение проблемы снижения производственного шума с использованием метода К. Исикавы / Н. М. Пузырев, Д. В. Мартынов, Н. Б. Барбашинова // *Тенденции развития науки и образования*. – 2024. – № 107-8. – С. 31-35. – DOI 10.18411/trnio-03-2024-399.

14. Исследования акустического режима на территории застройки при воздействии внешних источников шума / В. В. Дымченко, П. А. Гребнев, В. Н. Бобылев, Д. В. Монич // *Приволжский научный журнал*. – 2024. – № 4(72). – С. 42-48.

15. Снижение уровней шума на территории жилой застройки при работе промышленной установки / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, Д. В. Монич, Д. Л. Щеголев // *Вестник Приволжского территориального отделения Российской*

академии архитектуры и строительных наук : Сборник научных трудов / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Том Выпуск 23. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 145-148.

16. Васильев, А. В. Проектирование санитарно-защитной зоны Северного промышленного узла г. Тольятти с учетом требований к шуму и инфразвуку / А. В. Васильев // 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. 314-322.

17. Югай, Л. А. Возможность применения метода измерения промышленных предприятий с множественными источниками шума в условиях плотной застройки промышленными предприятиями / Л. А. Югай // Noise Theory and Practice. – 2023. – Т. 9, № 4(35). – С. 79-91.

18. Метод измерения шума и оценка вклада крупного промышленного предприятия в шумовую обстановку селитебной территории / А. Л. Пономарев, Т. С. Уланова, О. А. Молок, А. А. Одегов // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2022. – Т. 30, № 12. – С. 59-65. – DOI 10.35627/2219-5238/2022-30-12-59-65.

19. Соловьева, О. С. Снижение уровня шума от химико-металлургического завода в жилой застройке / О. С. Соловьева, Ю. И. Элькин // Экономика. Экология. Безопасность : Материалы Международной научно-практической конференции, Уфа, 17–18 апреля 2020 года. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2020. – С. 236-238.

20. Соловей, Н. А. Шум портов: эмпирические исследования процессов шумообразования / Н. А. Соловей // 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. 464-471.

21. Соловей, Н. А. Шум портов: воздействие на прилегающие территории / Н. А. Соловей, В. Ф. Шуйский // 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. 621-625.

22. Кирпичников, В. Ю. Практика снижения шума от работы инженернотехнологического оборудования / В. Ю. Кирпичников, Л. Ф. Дроздова // Защита от повышенного шума и вибрации : Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 26–28 марта 2013 года / Под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2013. – С. 89-104.

23. Соловей, Н. А. Опыт учёта акустических техногенных воздействий на особо охраняемую природную территорию при проектировании морского порта / Н. А. Соловей, В. А. Жигульский, Т. В. Максимова // Защита от повышенного шума и вибрации : Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 26–28 марта 2013 года / Под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2013. – С. 395-402.

24. Пальникова, О. В. Анализ особенностей акустического проектирования крышных котельных, влияющих на окружающую среду / О. В. Пальникова, И. К. Пименов // 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: Институт акустических конструкций, 2023. – С. 152-160.

25. Заяц, И. Б. Снижение шума при эксплуатации газораспределительных станций магистральных газопроводов : специальность 05.26.03 "Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Заяц Игорь Богданович. – Уфа, 2015. – 22 с.
26. Кузьминова, С. А. Исследование и разработка мер по снижению шума на путях его распространения от ГРП : специальность 05.14.01 "Энергетические системы и комплексы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузьминова Светлана Андреевна, 2021. – 133 с.
27. Кокарева, Н. Е. Обеспечение акустической безопасности на территориях, прилегающих к промышленным предприятиям : специальность 05.26.01 "Охрана труда (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кокарева Наталья Евгеньевна. – Днепропетровск, 1992. – 16 с.
28. Горбунова, О. А. Разработка системы защиты окружающей среды от шумового загрязнения предприятиями отдельной выработки тепла : специальность 05.14.01 "Энергетические системы и комплексы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Горбунова Оксана Анатольевна, 2020. – 182 с.
29. Васильев, А. В. Экспериментальные исследования шума энергетических установок промышленных предприятий / А. В. Васильев, А. И. Ганин // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения : Сборник научных трудов по материалам 2-й Всероссийской научно-практической конференции, Саратов, 26–28 октября 2020 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2020. – С. 217-221.

30. Niroj Kumar Mohalik. Development of a Noise Model with Respect to Sound Propagation and its Application to a Mining Complex // *Noise & Vibration Worldwide*. 2003. Vol 34. No. 2. pp. 8-16.
31. Горбунова, О. А. Разработка экспериментально-теоретической модели шумового поля энергетического оборудования ТЭС / О. А. Горбунова, Г. И. Павлов // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2018. – Т. 20, № 5-6. – С. 84-92.
32. Горин, В. А. Методы оценки внешнего шума промышленных предприятий / В. А. Горин, В. В. Клименко, М. А. Изотова // *Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : Материалы VII-ой Международной научно-практической конференции, Тамбов, 23–25 сентября 2020 года*. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2020. – С. 118-120.
33. Enda Murphy. *Wind Farm, Industrial and Construction Noise* // Elsevier eBooks. 2022. pp. 177-209.
34. 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.
35. 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).
36. 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.
37. ГОСТ 33325-2015 Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом (с Поправкой, с Изменением N 1) Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.
38. ГОСТ 31296.2-2006 (ИСО 1996-2:2007) Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 2. Определение уровней звукового

давления (с Поправкой). Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2018 год.

39. Горин, В. А. Разработка шумозащитных мероприятий для территории застройки и помещений жилого комплекса в г. Сочи / В. А. Горин, Ю. П. Ищук, П. В. Погодина // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2019. – № 5. – С. 1-8.

40. Акустика зданий: акустика современных жилых, общественных и промышленных зданий : курс лекций, учебник для вузов, справочник / И. И. Боголепов. — Санкт-Петербург : [б. и.], 2015. — 496 с.

41. Звукоизоляция и звукопоглощение: Учеб. Пособие для студентов вызов / Л.Г Осипов., В.Н. Бобылёв, Л А. Борисов и др.; Под ред. Г.Л. Осипова, В.Н. Бобылева. – М.: ООО «Издательство АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2004. – 450, [14] с.: ил.

42. 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.

43. Гусев, В. П. Защита зданий и территорий застройки от аэродинамического шума систем вентиляции, кондиционирования и других газоздушных систем : специальность 05.23.03 "Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение", 03.00.16 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Гусев Владимир Петрович. – Москва, 2003. – 47 с.

44. Пименов, И. К. Обратный метод акустического расчета санитарно-защитных зон / И. К. Пименов, Е. Г. Комарова, М. А. Ягло // 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. 276-285.

45. Пименов, И. К. Оценка шума рудника с открытым способом добычи на прилегающую территорию / И. К. Пименов, Е. Г. Комарова, М. А. Ягло // 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. 267-275.

46. Комарова, Е. Г. Решение трехмерной обратной задачи по определению уровня шума на границе санитарно-защитной зоны промышленного предприятия / Е. Г. Комарова, И. К. Пименов // Noise Theory and Practice. – 2018. – Т. 4, № 3(13). – С. 15-21.

47. Антонов, А. И. Расчеты уровней прямого звука от линейных источников шума, располагающихся на промышленных предприятиях и в городской застройке / А. И. Антонов, В. И. Леденев, Е. О. Соломатин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31-1(50). – С. 329-335.

48. Расчетные модели излучения звука точечными источниками шума промышленных предприятий / В. П. Гусев, А. И. Антонов, Е. О. Соломатин, А. М. Макаров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 3(381). – С. 191-196.

49. Методы расчета уровней прямого звука, излучаемого плоскими источниками шума в городской застройке / А. И. Антонов, В. И. Леденев, Е. О. Соломатин, В. П. Гусев // Жилищное строительство. – 2013. – № 6. – С. 13-15.

50. Жоголева, О. А. Опыт разработки и использования методов расчета шума при оценке шумового режима и проектировании средств шумозащиты в гражданских и промышленных зданиях / О. А. Жоголева, А. М. Макаров, Е. О. Соломатин // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство,

транспорт : Материалы 4-й Международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 15–16 июня 2017 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2017. – С. 65-69.

51. Соломатин, Е. О. Оценка шумового режима при разработке строительно-акустических средств снижения шума в зданиях с крупногабаритным оборудованием и на прилегающих к ним территориях : специальность 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Соломатин Евгений Олегович. – Москва, 2014. – 22 с.

52. Расчеты шума в воздуховодах при оценке шумовых воздействий промышленных предприятий на городскую застройку / В. П. Гусев, В. И. Леденев, А. И. Антонов, И. В. Матвеева // Жилищное строительство. – 2020. – № 7. – С. 3-7.

53. Оценка шумового воздействия дымовых труб тепловых электростанций на городскую застройку / В. П. Гусев, В. И. Леденев, А. И. Антонов, И. В. Матвеева // Жилищное строительство. – 2022. – № 6. – С. 23-28.

54. Оценка шумового воздействия развитой по мощности ТЭЦ на жилую застройку / В. П. Гусев, А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2021. – № 2(34). – С. 123-137.

55. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, О. О. Федорова // Приволжский научный журнал. – 2017. – № 2(42). – С. 16-23.

56. Lokhande SK, Gautam R, Dhawale SA, Jain MC, Bodhe GL. Evaluation of practical framework for industrial noise mapping: A case study. Noise Health. 2019 Sep-Oct;21(102):194-199.

57. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" (с изменениями на 17 марта 2025 года). Официальный интернет-портал правовой информации [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), 03.02.2021, N 0001202102030022.
58. 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.
59. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997 год. Заменен с 11.03.2021 на СанПиН 1.2.3685-21.
60. Шепелин О.П. Влияние импульсного и стабильного шума на отдельные функции организма в производственных и экспериментальных условиях: Автореф. дис. ... канд. наук. — Л., 1959. — 24 с.
61. Шепелин О. П. Влияние импульсного и стабильного шума на организм в экспериментальных условиях. // Гигиена и санитария. – 1961. – С. 25-31.
62. Шепелин О. П. К вопросу о физиолого-гигиенических основах изучения и нормирования импульсного шума. // Гигиена и санитария. – 1963. – С. 85-88.
63. Jukka Starck, Esko Toppila, I. Ruukkö. Impulse noise and risk criteria. // PubMed. 2003. Vol 5. No. 20. pp. 63-73.
64. 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.

65. К вопросу о безопасности кратковременного воздействия высокоинтенсивного шума изменяющейся тональности / М. А. Рыжиков, М. С. Кузнецов, С. М. Логаткин, С. М. Кузнецов // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2018. – № 1. – С. 57-64.

66. Разработка мероприятий для снижения шума вытяжных систем промышленного предприятия / А. П. Васильев, С. А. Кондратьев, К. П. Фиев, Н. В. Тюрина // *Noise Theory and Practice*. – 2025. – Т. 11, № 3(42). – С. 188-197.

67. Васильев, А. В. Шумовая безопасность урбанизированных территорий / А. В. Васильев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 1. – С. 299-305.

68. Min-Chie Chiu. Optimization of pneumatic mufflers hybridized with metal sintered bronze porous material, expansion cone, and extended tube // *Noise & Vibration Worldwide*. 2022. Vol 53. No. 11. pp. 532-549.

69. Светлов, В. В. Снижение уровней шума в жилой застройке от инженерно-технологического оборудования предприятий / В. В. Светлов // *Noise Theory and Practice*. – 2020. – Т. 6, № 4(22). – С. 115-127.

70. Гусев, В. П. Оценка шумового воздействия на окружающую среду вентиляционного оборудования, устанавливаемого на открытых площадках / В. П. Гусев, В. И. Леденев // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2014. – № 3. – С. 70-74.

71. George Bugliarello. *The Technology of Noise Reduction from Machines* // Elsevier eBooks. 1976. pp. 276-291.

72. Fiebig, Wieslaw. (2020). Use of Acoustic Camera for Noise Sources Localization and Noise Reduction in the Industrial Plant. Archives of Acoustics. 45. 111-117. 10.24425/aoa.2020.132487.
73. 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.
74. 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.
75. 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.
76. 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.
77. Снижение шума в кривых. «Железные дороги мира» – 2009, № 6 с. 70-76.
78. 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

79. СП 254.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от производственного шума. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2018 год
80. Stylianos Kephelopoulos, Marco Paviotti, Fabienne Anfosso-Lédée (2012). Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012, 180 pp.
81. 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.
82. 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.
83. ГОСТ 20444-2014 Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики (с Поправкой, с Изменением N 1) Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.
84. Гусев, В. П. Защита зданий и территорий застройки от аэродинамического шума систем вентиляции, кондиционирования воздуха и других газоздушных систем: специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение», 03.00.16: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Гусев Владимир Петрович. – Москва, 2003. – 376 с.
85. Чугунков, Д. В. Расчет уровня шума струй пара при выбросах в атмосферу на ТЭС / Д. В. Чугунков, В. Б. Тупов // Теплоэнергетика. – 2007. – № 6. – С. 71-73.
86. Чугунков, Д. В. Снижение шума технологического выброса пара в атмосферу от энергетических котлов ТЭС малой паропроизводительности / Д.

- В. Чугунков // 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. 318-324.
87. Будовский А.В. Технико-экономическое обоснование выбора между активными и пассивными методами шумо и виброподавления в цехах розлива жидкостей / А. В. Будовский, Ю. И. Булыгин, А. Е. Сафронов // ИВД. 2024. №9 (117). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehniko-ekonomicheskoe-obosnovanie-vybora-mezhdu-aktivnymi-i-passivnymi-metodami-shumoi-vibropodavleniya-v-tsehah-rozliva> (дата обращения: 18.07.2025).
88. 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.
89. Справочник проектировщика. Защита от шума. / Под ред. Е. Я. Юдина. – М., «Стройиздат», 1974. – 134 с.
90. Юдин Е.Я. Защита от шума прилегающей застройки / Е.Я. Юдин, И.Д. Котова // Железнодорожный транспорт. – 1987. – №12.
91. Светлов, В.В. Расчет эффективности технологического шумозащитного экрана для снижения шума от воздухозаборных решеток компрессорных установок / В.В. Светлов // Noise Theory and Practice. – 2017. – С. 16-25.
92. Schallschutzanordnung; Calenberg Ingenieure planmassig elastisch lagern GmbH = Барьер для защиты от акустического излучения: Заявка / Peter Wisniewski, Muller Herbert. – 06017030.5 ; ЕПВ ; 20.02.2008.
93. Пospelov П.И. Проблемы акустического обоснования при проектировании шумозащитных экранов / П.И. Пospelov // Наука и техника в дор. отрасли. – 2001. – № 4. – С. 12-14.
94. 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.

95. Шашурин А.Е. Научное обоснование и применение новых технических и технологических решений для снижения акустического загрязнения основными типами шумозащитных экранов : диссертация докт. техн. наук: 01.04.06 / Шашурин Александр Евгеньевич. – Санкт-Петербург, 2018. – 336 с.

96. Шашурин А.Е., Тюрина Н.В., Семенов Н.Г., Корнилов В.А. Опыт применения акустических экранов со звукопоглощающими панелями из импрегнированной древесины. // Сборник докладов III Всероссийской научно-практической конференции с международным 22-24 марта 2011 г. СПб, под ред. Н.И. Иванова – Санкт-Петербург, С.332-336.

97. Hai-long Zhang, Yi-fan Zhu, Bin Liang, Jing Yang, Jun Yang, Jian-chin Cheng Omnidirectional Ventilated Acoustic Barrier : Applied Physics Letters, 2017 – Vol. 111(20) – P.203502

98. Иванов Н.И. Расчет и конструирование акустических экранов для снижения шума в жилой застройке / Н.И. Иванов, Н.В. Тюрина // «Жилищное строительство», 2013 - №6 – С.10-12.

99. 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.

100. Сейфельмлюкова, Г. А. Снижение шума от крупных городских центральных тепловых пунктов в условиях реконструкции / Г. А. Сейфельмлюкова, Д. В. Чугунков, А. В. Суслов // 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. 199-206.

101. Терехов, А. Л. Защита городов от шума компрессорных станций магистральных газопроводов / А. Л. Терехов, А. В. Терехов, О. Н.

- Емельянов // 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. 141-147.
102. Кудяев, А. В. Снижение шума силовых установок строительного-дорожных машин звукоизолирующими капотами: автореферат дис-и на соиск. уч. степени к-та техн. наук: 01.04.06 / Кудяев Александр Владимирович. – СПб.: 2011. – 25 с.
103. Понофидин, Д. В. Шум трансформаторных подстанций. Санитарно-гигиенический контроль уровней проникающего шума. Проблемы снижения уровней шума до допустимых санитарными нормами значений / Д. В. Понофидин, М. Ю. Владимиров, А. Н. Эшмекеев // Анализ риска здоровью - 2021. Внешнесредовые, социальные, медицинские и поведенческие аспекты.
104. David Svoboda. Noise Reduction On Air Distribution Grilles Using 3d Printed Infill Structures // Akustika. 2023. No. VOLUME 45. pp. 3-24.
105. Семин, С. А. Эффективные мероприятия по снижению шума от ТЭЦ и котельной / С. А. Семин, В. Б. Тупов // 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. 266-273.
106. Тупов, В. Б. Снижение шума от оборудования на территории энергетических объектов и в окружающем районе / В. Б. Тупов // 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: Институт акустических конструкций, 2023. – С. 211-219.

107. Фоменко, К. С. Результаты акустического обследования промышленного предприятия при сбросе влажного пара в атмосферу с анализом основных особенностей генерации шума / К. С. Фоменко, Д. В. Чугунков, Г. А. Сейфельмлюкова // Защита от повышенного шума и вибрации : Сборник докладов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 19–21 марта 2019 года / Под ред. Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Институт акустических конструкций", 2019. – С. 365-372.
108. Горбунова, О. А. Разработка комплекса мероприятий по снижению шума оборудования энергетических объектов / О. А. Горбунова, Г. И. Павлов, П. В. Накоряков // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2018. – № 4(40). – С. 39-52.
109. Тупов, Б. В. Разработка методов снижения шумового загрязнения окружающей среды газоздушными трактами тягодутьевых машин ТЭС : специальность 05.14.14 "Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тупов Борис Владимирович, 2015. – 110 с.
110. Тупов, В. Б. Снижение шума от объектов большой и малой энергетики / В. Б. Тупов // 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. 55-64.
111. Липантьев, Р. Е. Снижение интенсивности шума при выбросах пара на энергетических предприятиях / Р. Е. Липантьев, Э. Н. Муллагалеева // Техносферная безопасность. – 2019. – № 3(24). – С. 104-112.

112. Чугунков, Д. В. Снижение шума выбросов пара на ТЭС с применением глушителей шума модульной конструкции / Д. В. Чугунков // 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: Институт акустических конструкций, 2023. – С. 248-255.
113. Горин, В. А. Шумозащитные мероприятия для снижения внешнего шума тепловой электростанции / В. А. Горин, В. В. Клименко, А. Д. Анненко, В. В. Цыганков // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : Материалы 5-й Международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта, Тамбов, 24–25 мая 2018 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2018. – С. 160-164.
114. Горин, В. А. Снижение шумового загрязнения окружающей среды путем установки шумоглушителя / В. А. Горин, В. В. Клименко, Р. И. Шутов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 119. – С. 1089-1098.
115. Чугунков, Д. В. Особенности снижения шума выброса пара на объектах энергетики / Д. В. Чугунков // Защита от повышенного шума и вибрации : Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 26–28 марта 2013 года / Под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2013. – С. 261-271.
116. Чехомова, Д. Б. Снижение шума, создаваемого работой котельной, расположенной во дворе жилого дома в г. Челябинске / Д. Б. Чехомова, И. И. Новиков // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – С. 165-169.

117. S.I. Gvozdikova, L.E. Shvartsburg, Analysis of Sources and Methods for Reducing Noise by Minimizing Vibrations of Engineering Technological Processes, *Procedia Engineering*, Volume 206, 2017, Pages 958-964, ISSN 1877-7058
118. Galina Kalda. NOISE ANALYSIS AND REDUCTION METHODS IN SANITATION FACILITIES AND EQUIPMENT // *Journal of Civil Engineering Environment and Architecture*. 2022. Vol 69. pp. 17-26.
119. J. Michalczyk. Noise reduction problems of vibratory machines // 2014. Vol 18. No. 2. pp. 337-349.
120. Geoffrey G. Huggins. Noise reduction of conveyers used in underground coal mining machinery. Final report // 1976.
121. Xiaolun Liu. Design and Experimental Analyse of Low Noise Double-Pitch Silent Chain for Conveyor // *Procedia Engineering*. 2012. Vol 29. pp. 2146-2150.
122. МИ ПКФ-12-006 Однократные прямые измерения уровней звука, звукового давления и вибрации приборами серий Октава и Экофизика. Методика измерений. Приложение к руководствам по эксплуатации ПКДУ.411000.03РЭ, ПКДУ.411000.005РЭ, ПКДУ.411000.010РЭ, ПКДУ.411000.003РЭ, ПКДУ.411000.001РЭ (АВНР.411171.007РЭ), ПКДУ.411000.001.02РЭ, ПКДУ.411000.001.03РЭ, ПКДУ.411000.002.01РЭ, РЭ 4381-003-76596538-06, РЭ 4381-002-76596538-05, РЭ 4277-002-76596538-05. Редакция 17 (Издание 2024 года)/ Сайт <http://www.octava.info/> по состоянию на 04.09.2024.
123. ГОСТ ISO 3744-2024 Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью. Официальное издание. М.: ФГБУ "РСТ", 2024.
124. ГОСТ Р ИСО 3746-2013 Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над

звукоотражающей плоскостью. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.

125. ГОСТ Р 53188.1-2019 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Шумомеры. Часть 1. Технические требования. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год.

126. МУК 4.3.3722-21 Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях. Официальный сайт Роспотребнадзора России [www.rospotrebnadzor.ru](http://www.rospotrebnadzor.ru) по состоянию на 18.01.2022.

127. ГОСТ Р МЭК 60942-2009 Калибраторы акустические. Технические требования и требования к испытаниям (с Поправкой). официальное издание М.: Стандартинформ, 2010 год.

128. Васильев А.П. Аппроксимация промышленного предприятия с множественными источниками как плоского источника шума / Васильев А.П., Буторина М.В., Васильева А.В. // *Noise Theory and Practice*. – 2025. – Т. 11, № 4. – С. 7-15.

129. Буторина М.В. Картирование шума транспорта на территории городской застройки - Санкт-Петербург : БГТУ, 2020. - 224 с. - ISBN 978-5-907324-15-2.

130. ГОСТ 31297-2005 (ИСО 8297:1994) Шум. Технический метод определения уровней звуковой мощности промышленных предприятий с множественными источниками шума для оценки уровней звукового давления в окружающей среде - М.: Стандартинформ, 2006. - 18 с.

131. 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.

132. Maekawa Z. Environmental and Architectural Acoustics / Z. Maekawa, J. H. Rindel, P. Lord / Spon Press. - Second edition. – 2011. – 371 p.

133. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н.И. Иванов. – Москва: Логос, 2010. – 424 с.

134. Тюрина Н.В. Решение проблемы снижения шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами : диссертация докт. техн. наук: 01.04.06 / Тюрина Наталья Васильевна. – Санкт-Петербург, 2014. – 330 с.
135. Буторина М.В. Расчет распространения внешнего шума промышленного предприятия / Буторина М.В., Васильев А.П., Васильева А.В. // *Noise Theory and Practice*. – 2025. – Т. 11, № 3. – С. 7-17.
136. Светлов, В. В. Оценка и снижение шума стационарных источников в жилой застройке : специальность 01.04.06 "Акустика" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Светлов Валерий Валериевич, 2021. – 219 с.
137. ГОСТ 33329-2015 Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования - М.: Стандартинформ, 2019.

## Приложение 1. Результаты измерения шумовых характеристик источников

Таблица П1. Перечень источников акустического воздействия на существующее положение, принятый в расчет с привязкой к координатам

№ ИШ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L <sub>A</sub> , дБА	L <sub>Amax</sub> , дБА	Комментарий
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
<i>Источники группы: Существующие ИШ на момент измерений</i>												
ИШ-1	77	73	75	76	73	65	56	49	38	73	73	Вентилятор в окне АБК
ИШ-2	85	89	88	79	81	92	83	76	58	93	93	Транспортер Т-330100А (подшипник)
ИШ-2.1	85	89	88	79	81	92	83	76	63	93	93	Транспортер Т-330100А (подшипник)
ИШ-3	84	87	86	84	80	77	73	67	58	83	83	Транспортер Т-330100А (сегмент перегрузки)
ИШ-4	85	85	85	76	73	73	69	67	69	78	78	Транспортер Т-330100А (сегмент перегрузки)
ИШ-4.1	85	85	85	76	73	73	69	67	86	86	86	Транспортер Т-330100А (сегмент перегрузки)
ИШ-5	89	87	82	76	76	79	75	66	56	82	82	Вентилятор ВТ1.1
ИШ-6	103	99	102	89	88	83	83	79	73	91	91	Приточная вентиляция, забор воздуха (d~1,8 м)
ИШ-7	93	91	96	85	82	82	85	74	58	89	89	Корпус вентилятора, приточная вентиляция (d~1,8 м)
ИШ-8	100	102	101	87	80	78	75	70	63	88	88	Забор воздуха на кровле (на надстройке), есть глушитель
ИШ-9	104	95	94	88	91	81	73	68	64	89	89	Труба (ист. №0142)
ИШ-10	104	95	94	88	91	81	73	68	64	89	89	Труба (ист. №0143)
ИШ-11	82	87	81	80	81	82	78	72	64	85	85	Вентиляторов ВТ2.1
ИШ-12	89	103	100	95	91	87	84	78	72	94	94	Вентилятор градирни TEVA
ИШ-13	89	103	100	95	91	87	84	78	72	94	94	Вентилятор градирни TEVA
ИШ-14	93	101	101	95	95	90	89	82	74	97	97	Вентилятор градирни Desca
ИШ-15	93	101	101	95	95	90	89	82	74	97	97	Вентилятор градирни Desca
ИШ-16	93	101	101	95	95	90	89	82	74	97	97	Вентилятор градирни Desca
ИШ-17	93	101	101	95	95	90	89	82	74	97	97	Вентилятор градирни Desca
ИШ-18	93	95	96	96	91	92	86	76	70	95	95	Крышной вентилятор В3
ИШ-19	93	95	96	96	91	92	86	76	70	95	95	Крышной вентилятор В3

№ ИШ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L <sub>A</sub> , дБА	L <sub>Amax</sub> , дБА	Комментарий
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
ИШ-20	91	93	88	84	83	77	79	80	63	86	86	Вентиляционный фонарь
ИШ-21	97	92	90	88	97	85	83	76	64	95	95	Патрубок вентиляции
ИШ-22	79	78	81	77	77	80	74	64	60	82	82	М1.7.13 инв. 150 электродвигатель
ИШ-23	78	84	86	82	79	80	78	78	65	85	85	Транспортер Т-WS31403 - скрип и стук на платформе
ИШ-24	98	103	105	102	105	98	89	81	74	104	104	Вытяжной патрубок (ИВ 0135)
ИШ-25	93	97	101	97	92	93	88	82	71	97	97	Вытяжная вентиляция ИВ б/н, колпак с направленностью
ИШ-26	99	95	100	90	88	84	80	72	65	90	90	Фонарь вытяжки, ИВ №124
ИШ-27	93	98	98	97	85	90	84	80	72	94	94	Фонарь вытяжки ИВ б/н
ИШ-28	84	83	85	84	75	76	72	65	55	81	81	Фонарь вентиляционный ИВ №129
ИШ-29	84	84	90	80	79	74	69	62	52	81	81	Крышной вентилятор
ИШ-30	93	99	100	98	89	92	85	82	73	96	96	Вытяжной вентилятор
ИШ-31	96	86	95	94	93	85	76	70	63	93	93	Вытяжной вентилятор с выбросом пара
ИШ-32	94	99	110	108	99	106	95	89	80	108	108	Фонарь вытяжного вентилятора, ИВ №0142
ИШ-33	83	91	92	96	101	98	93	81	69	102	102	Фонарь вытяжного вентилятора, ИВ №0138
ИШ-34	69	73	73	69	69	67	66	56	49	72	72	Фонарь вытяжного вентилятора, ИВ №0138
ИШ-35	96	97	97	92	87	83	84	79	70	91	91	Труба из цеха с вентилятором (присутствует свист)
ИШ-36	76	75	72	73	76	73	68	63	55	77	77	Вентилятор В16.3 (2ой в работе)
ИШ-37	79	81	76	74	74	64	57	72	69	77	77	Вентилятор В19 (улитка) ИВ №0170
ИШ-38	67	65	59	59	62	64	59	52	40	67	67	Вентилятор В23 ИВ №0172
ИШ-39	66	67	68	65	69	72	66	58	50	74	74	Электродвигатель В20, ИВ № 0169
ИШ-40	81	74	73	71	75	67	63	60	49	74	74	Вытяжка (открытый конец воздуховода)
ИШ-41	68	67	62	63	61	63	59	50	39	66	66	Электродвигатель, ИВ № 0174
ИШ-42	72	69	65	67	68	64	56	54	46	69	69	Вытяжка (открытый конец воздуховода)
ИШ-43	67	68	63	59	63	65	58	46	38	67	67	Электродвигатель В16
ИШ-44	75	73	73	73	77	71	64	58	49	76	76	Вытяжка (открытый конец воздуховода)

№ ИШ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L <sub>A</sub> , дБА	L <sub>Amax</sub> , дБА	Комментарий
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
ИШ-46	102	89	87	89	87	88	82	76	67	91	100	Загрузка сырья в самосвал (заведенный самосвал, гул электродвигателя и срабатывание системы оповещения)
ИШ-47	80	83	81	76	74	70	65	66	62	76	76	Скрип транспортера 4ОН-2.6
ИШ-49	66	76	56	59	70	47	42	42	32	67	67	ТП 1250 кВА
ИШ-50	66	76	56	59	70	47	42	42	32	67	67	ТП 1250 кВА
ИШ-51	66	76	56	59	70	47	42	42	32	67	67	ТП 1250 кВА
ИШ-52	66	76	56	59	70	47	42	42	32	67	67	ТП 1250 кВА
ИШ-53	107	100	95	89	91	84	78	70	64	91	91	Решетка вентсети в стене компрессорной станции
ИШ-54.1	84	85	79	81	72	71	66	58	50	77	80	Работа компрессорной
ИШ-54.2	84	85	79	81	72	71	66	58	50	77	80	Работа компрессорной
ИШ-55	89	89	92	92	92	87	86	92	91	97	97	Пересыпка зерен в норрии
ИШ-56	106	99	96	93	95	94	93	93	92	100	100	Выгрузка зерна из машины (весь цикл)
ИШ-56.2	93	92	73	60	47	40	35	28	20	67	67	Дымовая труба на срезе
ИШ-57	86	88	93	90	84	85	77	73	68	89	89	Привод транспортера
ИШ-58	102	103	102	101	105	100	90	90	87	105	105	Две трубы из стены цеха
<b>Источники группы: Группы окон М2.1</b>												
ИШ-59	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
ИШ-60	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М2.1
ИШ-61	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
ИШ-62	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М2.1
ИШ-63	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
ИШ-64	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
ИШ-65	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-66	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-67	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
ИШ-68	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
ИШ-69	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
ИШ-70	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
ИШ-71	90	89	86	79	77	72	68	63	53	78	78	Оконный блок М2.1
ИШ-72	90	89	86	79	77	72	68	63	53	78	78	Оконный блок М2.1
ИШ-73	90	89	86	79	77	72	68	63	53	78	78	Оконный блок М2.1
ИШ-74	91	90	87	80	78	73	69	64	54	80	80	Оконный блок М2.1
ИШ-75	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-76	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-77	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-78	91	90	87	80	78	73	69	64	54	80	80	Оконный блок М2.1
ИШ-79	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-80	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-81	91	90	87	80	78	73	69	64	54	80	80	Оконный блок М2.1
ИШ-82	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-83	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-84	86	85	82	75	73	68	64	59	49	74	74	Оконный блок М2.1
ИШ-85	91	90	87	80	78	73	69	64	54	80	80	Оконный блок М2.1

№ ИШ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L <sub>A</sub> , дБА	L <sub>Amax</sub> , дБА	Комментарий
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
ИШ-86	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-87	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-88	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-89	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-90	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-91	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-92	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-93	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-94	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-95	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-96	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-97	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-98	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-99	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-100	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-101	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-102	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-103	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-104	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-105	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-106	91	90	87	80	78	73	69	64	54	80	80	Оконный блок M2.1
ИШ-107	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-108	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-109	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-110	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-111	91	90	87	80	78	73	69	64	54	80	80	Оконный блок M2.1
ИШ-112	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-113	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-114	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-115	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-116	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-117	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-118	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-119	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-120	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-121	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-122	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-123	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-124	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-125	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-126	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-127	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-128	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-129	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок M2.1
ИШ-130	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-131	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-132	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-133	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-134	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-135	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-136	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-137	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-138	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-139	91	90	87	80	78	73	69	64	54	80	80	Оконный блок M2.1
ИШ-140	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1
ИШ-141	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок M2.1

№ ИШ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L <sub>A</sub> , дБА	L <sub>Amax</sub> , дБА	Комментарий
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
ИШ-142	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-143	91	90	87	80	78	73	69	64	54	80	80	Оконный блок М2.1
ИШ-144	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-145	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-146	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-147	91	90	87	80	78	73	69	64	54	80	80	Оконный блок М2.1
ИШ-148	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-149	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-150	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-151	91	90	87	80	78	73	69	64	54	80	80	Оконный блок М2.1
ИШ-152	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
ИШ-153	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М2.1
ИШ-154	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
ИШ-155	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М2.1
<b>Источники группы: Группы окон М1.1</b>												
ИШ-156	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-157	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-158	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-159	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-160	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М2.1
ИШ-161	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-162	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-163	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-164	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-165	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-166	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-167	84	83	80	73	71	66	62	57	47	72	72	Оконный блок М1.1
ИШ-168	84	83	80	73	71	66	62	57	47	72	72	Оконный блок М1.1
ИШ-169	84	83	80	73	71	66	62	57	47	72	72	Оконный блок М1.1
ИШ-170	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-171	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-172	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-173	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-174	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-175	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-176	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-177	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-178	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-179	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-180	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-181	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-182	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-183	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-184	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-185	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-186	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-187	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-188	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-189	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-190	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-191	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-192	87	86	83	76	74	69	65	60	50	75	75	Оконный блок М1.1
ИШ-193	93	92	89	82	80	75	71	66	56	82	82	Оконный блок М1.1
ИШ-194	87	86	83	76	74	69	65	60	50	76	76	Оконный блок М1.1
ИШ-195	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1

№ ИШ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L <sub>A</sub> , дБА	L <sub>Amax</sub> , дБА	Комментарий
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
ИШ-196	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-197	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-198	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-199	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-200	90	89	86	79	77	72	68	63	53	79	79	Оконный блок М1.1
ИШ-201	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-202	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-203	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-204	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-205	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-206	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-207	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-208	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-209	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-210	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-211	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-212	88	87	84	77	75	70	66	61	51	77	77	Оконный блок М1.1
ИШ-213	88	87	84	77	75	70	66	61	51	76	76	Оконный блок М1.1
ИШ-214	88	87	84	77	75	70	66	61	51	76	76	Оконный блок М1.1
ИШ-215	88	87	84	77	75	70	66	61	51	76	76	Оконный блок М1.1
<b>Источники группы: Грузовой транспорт</b>												
ИШ-216	-									80	Маршрут движения и интенсивность определены на основании ИД, расчет макс. УЗ по СП 276.1325800.2016 и ОДМ 218.2.013-2011	
ИШ-217	-									74	Маршрут движения и интенсивность определены на основании ИД, расчет макс. УЗ по СП 276.1325800.2016 и ОДМ 218.2.013-2011	
ИШ-218	-									74	Маршрут движения и интенсивность определены на основании ИД, расчет макс. УЗ по СП 276.1325800.2016 и ОДМ 218.2.013-2011	
ИШ-219	-									74	Маршрут движения и интенсивность определены на основании ИД, расчет макс. УЗ по СП 276.1325800.2016 и ОДМ 218.2.013-2011	
ИШ-220	-									74	Маршрут движения и интенсивность определены на основании ИД, расчет макс. УЗ по СП 276.1325800.2016 и ОДМ 218.2.013-2011	

№ ИШ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										L <sub>A</sub> , дБА	L <sub>Amax</sub> , дБА	Комментарий
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000				
ИШ-221	-											74	Маршрут движения и интенсивность определены на основании ИД, расчет макс. УЗ по СП 276.1325800.2016 и ОДМ 218.2.013-2011
<b>Источники группы: Движение сырья с позиции 7 (8 ч/с 100 т/ч)</b>													
ИШ-45.1	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 9.4.3.)	
ИШ-45.2	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Норийная башня (поз. 6.2)	
ИШ-45.3	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 2с.3.)	
ИШ-45.4	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Норийная башня (поз. 6.2)	
ИШ-45.5	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.2.1.)	
ИШ-45.6	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Норийная башня (поз. 6.1.)	
ИШ-45.7	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.2.1.)	
ИШ-45.8	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 2с.3.)	
ИШ-45.9	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 2с.3.)	
ИШ-45.10	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.2.2.)	
ИШ-45.11	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.3.1.)	
ИШ-45.12	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.6.)	
ИШ-45.13	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.5.)	
ИШ-45.14	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Нория загрузочная (Т1.16.1)	
ИШ-45.15	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.2.3.)	
ИШ-45.16	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.3.1а.)	
ИШ-45.17	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Норийная башня (поз. 10.6.)	
ИШ-45.18	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Норийная башня (поз. 10.6.)	
ИШ-45.19	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.3.1б.)	
ИШ-45.20	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.2.4.)	
ИШ-45.21	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.2.5.)	
ИШ-45.22	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 8.3.1с.)	
ИШ-45.23	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 1.3.)	
ИШ-45.24	76	81	83	83	86	83	80	72	67	88	93	Конвейер скребковый (поз. 1.4.)	

№ ИШ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L <sub>A</sub> , дБА	L <sub>Amax</sub> , дБА	Комментарий
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
<b>Источники группы: Движение сырья на производства (12 ч/с 150 т/ч)</b>												
ИШ-48.1	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (поз. 9.4.1.)
ИШ-48.2	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (поз. 9.4.1.)
ИШ-48.3	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Норийная башня (поз. 10.2.)
ИШ-48.4	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Норийная башня (поз. 10.1.)
ИШ-48.5	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Нория загрузочная (Т3.1.2)
ИШ-48.6	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Нория загрузочная (Т3.1.1)
ИШ-48.7	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ1.9.1)
ИШ-48.8	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ1.9.3)
ИШ-48.9	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ1.9.15)
ИШ-48.10	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Нория загрузочная (Т.1.9.1)
ИШ-48.11	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Нория загрузочная (Т.1.9.2)
ИШ-48.12	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Нория загрузочная (Т.1.10.2)
ИШ-48.13	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Нория загрузочная (Т.1.10.1)
ИШ-48.14	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ2.1.14)
ИШ-48.15	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ2.1.1)
ИШ-48.16	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ2.1.3)
ИШ-48.17	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Нория загрузочная (Т.2.9.2)
ИШ-48.18	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Нория загрузочная (Т.2.9.1)
ИШ-48.19	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ1.5.2)
ИШ-48.20	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ1.4.1)
ИШ-48.21	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ1.4.2)
ИШ-48.22	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ1.3.1)
ИШ-48.23	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (М1.7.1)
ИШ-48.24	71	84	83	82	95	86	79	76	74	93	96	Конвейер скребковый (КЕ1.4.5)
<b>Источники группы: Вентиляторы на силосах</b>												
ИШ-282	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян 1.3.1. Крышный вентилятор

№ ИШ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L <sub>A</sub> , дБА	L <sub>Amax</sub> , дБА	Комментарий
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
ИШ-283	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян 1.3.2. Крышный вентилятор
ИШ-284	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян 1.3.3. Крышный вентилятор
ИШ-285	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян 1.3.4. Крышный вентилятор
ИШ-286	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян 1.3.5. Крышный вентилятор
ИШ-287	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян 1.3.6. Крышный вентилятор
ИШ-288	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян 1.3.7. Крышный вентилятор
ИШ-289	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян 1.3.8. Крышный вентилятор
ИШ-290	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т1.1. Крышный вентилятор
ИШ-291	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т1.2. Крышный вентилятор
ИШ-292	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т1.3. Крышный вентилятор
ИШ-293	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т1.4. Крышный вентилятор
ИШ-294	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т1.5. Крышный вентилятор
ИШ-295	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т1.6. Крышный вентилятор
ИШ-296	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т1.7. Крышный вентилятор
ИШ-297	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т1.8. Крышный вентилятор
ИШ-298	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т2.1. Крышный вентилятор
ИШ-299	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т2.2. Крышный вентилятор
ИШ-300	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т2.3. Крышный вентилятор
ИШ-301	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т2.4. Крышный вентилятор

№ ИШ	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L <sub>A</sub> , дБА	L <sub>Amax</sub> , дБА	Комментарий
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
ИШ-302	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т2.5. Крышный вентилятор
ИШ-303	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т2.6. Крышный вентилятор
ИШ-304	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т2.7. Крышный вентилятор
ИШ-305	74	77	82	79	76	76	73	67	66	80	80	Силос хранения семян Т2.8. Крышный вентилятор

**Приложение 2. Результаты расчета распространения шума по  
предложенным методикам**

Таблица П.2.1. Расчет уровней звука в контрольных точках по предложенным расчётным схемам

№ КТ	КТ-1	КТ-2	КТ-3	КТ-4	КТ-5	КТ-6	КТ-7	КТ-8	КТ-9
$10\lg \beta_{\text{оуф}}$	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
$10\lg(1-\alpha_{\text{кр}})$	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
$-10\lg 2\pi$	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0
$-10\lg l$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$10\lg \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2+l^2+h^2}}$	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
$-10\lg R$	20,4	21,1	23,7	25,2	30,3	30,7	24,3	29,6	26,5
$10\lg \arctg \frac{l}{2R}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$-20\lg R$	23,6	24,2	25,9	26,8	29,2	29,9	26,3	29,4	27,6
$A_{\text{atm}}$	-0,1	-0,3	-1,4	-2,0	-4,5	-4,7	-1,7	-4,1	-2,7
$A_{\text{bar}}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Уровень звука в КТ, дБА	47,3	48,3	51,9	53,7	59,5	59,9	52,7	58,7	55,3
	1,2	1,3	2,0	2,4	4,2	4,9	2,2	4,3	2,9
	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	53,0	51,9	48,1	43,7	39,0	37,5	47,2	39,2	43,9

### Приложение 3. Акты внедрения



#### Акт внедрения

результатов диссертационного исследования Васильева А.П. на тему  
 «Оценка, расчет и снижение внешнего шума промышленного предприятия с  
 множественными источниками шума»

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационного исследования Васильева Александра Петровича на тему «Оценка, расчет и снижение внешнего шума промышленного предприятия с множественными источниками шума» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7 Акустика использованы при выполнении работ по разработке мероприятий по снижению уровня шума на границе СЗЗ ООО «Белагротерминал» (с учетом существующего положения и проектируемых объектов), расположенного по адресу: Республика Беларусь, Гродненская обл., г. Сморгонь, ул. Логистическая, 4, к. 15.

На основе данных, полученных в диссертационном исследовании, был разработан комплекс высокоэффективных мер по снижению уровня шума на границе санитарно-защитной зоны предприятия.

Начальник службы охраны  
 окружающей среды

  
 Филистович Т.А.



ГРУППА КОМПАНИЙ  
**СОДРУЖЕСТВО**

**ООО УК «СОДРУЖЕСТВО»**

Российская Федерация,  
238340, Калининградская обл.,  
г. Светлый, ул. Гагарина, 65, оф. 420  
Тел.: +7 (4012) 30-55-44,  
Факс: +7 (4012) 30-61-03  
E-mail: info@sodrugestvo.ru;  
www.sodrugestvo.ru

«УТВЕРЖДАЮ»:

Главный эколог, К.Т.Н.

А.С. Кутырёв



12 2025 г.

### АКТ

внедрения результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Васильева А.П. на тему «Оценка, расчет и снижение внешнего шума промышленного предприятия с множественными источниками шума»

Комиссия в составе *начальника отдела охраны окружающей среды Подрядовой Ольги Николаевны и и ведущего инженера-эколога Курочкиной Татьяны Викторовны* составила настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования Васильева Александра Петровича на тему «Оценка, расчет и снижение внешнего шума промышленного предприятия с множественными источниками шума» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7 Акустика были использованы при выполнении работы по определению фактической эффективности шумозащитных мероприятий и разработке мероприятий по снижению уровня шума на границе санитарно-защитной зоны Производственно-логистического комплекса, расположенного по адресу: Калининградская обл., г. Светлый, ул. Гагарина, д. 65 и в ближайшей жилой зоне.

Использование результатов диссертационного исследования позволило разработать комплекс наиболее эффективных шумозащитных мероприятий для снижения шума на границе санитарно-защитной зоны промышленного предприятия, что позволило снизить уровень шума при оптимальных затратах на выполнение шумозащитных мероприятий.

Начальник отдела охраны  
окружающей среды

О.Н. Подрядова

Ведущий инженер-эколог

Т.В. Курочкина

**УТВЕРЖДАЮ:**Начальник ИЛ  
ООО «Институт  
Виброакустических Систем» Выриков А.Н.

«29» сентября 2024 г.

**Акт внедрения**

результатов диссертационного исследования Васильева А.П. на тему  
«Оценка, расчет и снижение внешнего шума промышленного предприятия с  
множественными источниками шума»

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационного исследования Васильева Александра Петровича на тему «Оценка, расчет и снижение внешнего шума промышленного предприятия с множественными источниками шума» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7 Акустика 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 промышленных объектов, а также при разработке проектов СЗЗ. Методики и подходы, описанные в диссертации, позволяют сократить временные затраты на выбор подходящих для объекта шумозащитных мероприятий, а также выполнять предварительную оценку воздействия предприятия на нормируемые территории.

Главный инженер проекта



Е.А. Базанова