



На правах рукописи

Васильев Александр Петрович

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

Специальность 1.3.7 Акустика

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», на кафедре «Техносферная безопасность и вычислительная механика».

Научный руководитель: **Буторина Марина Вадимовна**
доктор технических наук (01.04.06), доцент, профессор кафедры «Техносферная безопасность и вычислительная механика» ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург.

Официальные оппоненты: **Комкин Александр Иванович**
доктор технических наук (01.04.06), доцент, профессор кафедры «Экология и промышленная безопасность» ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва;
Иголкин Александр Алексеевич
доктор технических наук (01.04.06), доцент, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок имени академика РАН Владимира Павловича Шорина ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), г. Самара.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), г. Москва.

Защита состоится 24.04.2026 г. в __.00 на заседании диссертационного совета 24.2.272.02 в при ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова» (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова) по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1, ауд. 217.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» и на сайте <https://voenmeh.ru/nauka/dissertacziionnye-sovety/dissertacziionnyj-sovet-24-2-272-02/>.

Автореферат разослан «06» марта 2026 г.

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-ая Красноармейская, д. 1, кафедра Е5 «Техносферная безопасность и вычислительная механика», e-mail: dissovetvoenmeh@yandex.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.2.272.02



В.К. Васильева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. Воздействие шума на население по сей день остается большой проблемой, о чем свидетельствуют ежегодные доклады Роспотребнадзора. По данным 2024 года сверхнормативным воздействиям физических факторов подвержено 62,4 млн человек. Повышенный уровень шума является наиболее частой причиной обращения населения по поводу воздействия физических факторов, и их доля ежегодно увеличивается: с 57 % в 2016 году до 76 % в 2024 году. Среди различных источников шума выделяются промышленные предприятия. В отличие от других источников, промышленные предприятия занимают большую площадь и состоят из множества отдельных источников шума (ИШ), 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, которые могут быть расположены как на земле, так и на большой высоте – на крыше и фасадах зданий, или на высоте труб, которые могут достигать 30 метров и более.

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

Таким образом, предприятие представляет собой набор большого количества ИШ, каждый из которых необходимо учитывать в расчете, что делает расчет очень трудоемким, зачастую невозможным без разработки точной модели объекта в специализированном программном комплексе.

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. Ледечев, 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.

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

Следующим важным вопросом после расчета распространения шума от предприятия является его снижение. Так как ИШ 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 жилебной 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 (СЗЗ), однако данный подход является затратным, так как иногда требует выкупа предприятием территорий, попадающих в СЗЗ. С другой стороны,

если предприятие находится в черте города, то выделение больших площадей для СЗЗ является нецелесообразным, так как теряются значительные территории для потенциальной застройки. Зонирование территорий вблизи предприятий с указанием перечня необходимых шумозащитных мероприятий для достижения нормативных значений в каждой из зон (находящихся на различном удалении от предприятия) позволит сократить размер СЗЗ 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 селитебную 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 селитебной 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, действующего на прилегающие к предприятию территории.

Объект исследования: промышленные предприятия как источник шума.

Предмет исследования: распространение шума промышленного предприятия.

Задачи исследования:

1. выполнение теоретических исследований распространения шума промышленных предприятий;
2. разработка методики экспериментальных исследований уровней звуковой мощности источников шума промышленного предприятия и распространения шума от промышленных предприятий;
3. выполнение теоретических исследований для классификации источников шума предприятия по степени их значимости;
4. разработка расчетных схем и математической модели для оценки распространения шума предприятия как от плоского источника шума;
5. разработка рекомендаций по выбору шумозащитных мероприятий для различных источников шума предприятия;
6. разработка рекомендаций по зонированию территорий вблизи промышленных предприятий;
7. апробация на практике предложенных моделей, правил и подходов.

Научная новизна исследования

В результате выполненных теоретических исследований:

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 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 по фактору шума.

Основные положения, выносимые на защиту:

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 для оценки распространения шума 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.

Достоверность результатов диссертационного исследования обеспечена проведением натурных 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, надежность работы обоснована методологически: использован комплекс методик, разработанный в соответствии с действующими нормативно-техническими документами, а ее результаты прошли успешную апробацию на действующих промышленных предприятиях и внедрены в практику проектирования шумозащиты.

Внедрение результатов работы

Основные результаты исследований, приведенные в работе, нашли применение:

– при осуществлении 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. (Акт внедрения от 01.12.2025 г.);

– при осуществлении работ по определению фактической эффективности шумозащитных мероприятий и разработке мероприятий по снижению уровня шума на границе СЗЗ Производственно-логистического комплекса ГК «Содружество», расположенного по адресу: Калининградская обл., г. Светлый, ул. Гагарина, д. 65 (Акт внедрения от 03.12.2025 г.);

– в работе 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 СЗЗ (Акт внедрения от 29.09.2024 г.).

Апробация работы

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.

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 диссертации паспорту научной специальности

Тема и содержание диссертации соответствуют пункту 6 предметной области специальности 1.3.7 Акустика, отрасль науки – технические науки: «6. Акустика газовых сред, аэроакустика, прием и обработка звуковых сигналов в воздухе, мониторинг источников акустического шума в атмосфере, акустическая экология».

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 137 наименований, 3 приложений, изложена на 162 стр., содержит 18 таблиц и 32 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформированы цель и задачи исследования научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе представлено описание объекта исследования, в качестве которого выступает промышленное предприятие с множественными источниками шума. Проведен анализ существующих проблем воздействия шума от промышленных объектов на прилегающие к ним территории.

Проанализированы существующие методы и методики расчета распространения шума от промышленных предприятий на местности, в результате чего был сделан вывод о том, что существующие методы обладают рядом недостатков. К основным недостаткам наиболее применяемого метода, когда выполняется расчет от множества точечных ИШ, относятся чрезвычайно высокие требования к детализации компьютерной модели предприятия и прилегающей к нему местности, высокая ресурсоемкость процесса расчета распространения шума и отсутствие возможности выполнения ориентировочных расчетов без применения вычислительной техники.

Проведен анализ основных процессов шумообразования на промышленных предприятиях, по результатам которого определены типы ИШ, оказывающих основной вклад в формирование звукового поля предприятия.

Проведен анализ нормирования шума от промышленных предприятий. По результатам анализа определены целевые показатели и величины нормируемых параметров шума на территории защищаемых объектов, а также рассмотрена применимость коррекций к нормируемым параметрам исходя из характера объекта воздействия.

Проведен анализ путей, методов и средств снижения внешнего шума промышленного предприятия, который позволил выделить наиболее эффективные методы снижения шума как непосредственно в источнике, так и на пути распространения шума. К основным и наиболее эффективным средствам снижения шума промышленных предприятий отнесены: звукоизолирующие кожухи, глушители шума, звукопоглощающие акустические решетки на системы вентиляции и акустические экраны различных конфигураций.

Обзор состояния вопроса позволил выделить основные задачи исследования.

Во второй главе представлены результаты экспериментальных исследований внешнего шума промышленных предприятий.

Выполненный эксперимент включал в себя 4 основных этапа:

1. Проведение инвентаризации ИШ на территории промышленного предприятия;
2. Измерение шумовых характеристик и определение линейных размеров источников шума;
3. Измерение уровней звука (УЗ) и уровней звукового давления (УЗД) в точках измерений, расположенных на удалении от предприятия;
4. Измерение УЗ и УЗД на селитебной территории и на границе СЗЗ предприятия.

Измерения на всех этапах выполнялись с применением поверенных средств измерений, внесенных в госреестр средств измерений.

По результатам инвентаризации ИШ на территории предприятия был выявлен 151 ИШ, преимущественно системы аспирации и вентиляции, и конвейерное оборудование.

Для определения шумовых характеристик ИШ была разработана методика измерений уровней звуковой мощности (УЗМ) ИШ. Необходимость разработки методики измерений обусловлена наличием ряда недостатков у действующих стандартных методик измерений УЗМ машин и оборудования, таких как отсутствие возможности обеспечения требуемых условий для испытательной площадки и учета фонового шума при проведении измерений на действующих предприятиях. В основу разработанной методики легли подходы, представленные в методиках измерений ГОСТ ISO 3744-2024, ГОСТ Р ИСО 3746-2013 и МИ ПКФ-12-006.

Разработанная методика предусматривает следующие основные этапы:

- 1) построение огибающей ИШ поверхности в форме параллелепипеда;
- 2) построение измерительной поверхности в форме параллелепипеда;
- 3) проведение измерений УЗД в точках на измерительной поверхности, расположенных в вершинах и центрах граней измерительного параллелепипеда;
- 4) измерение УЗД фонового шума (при наличии возможности);
- 5) определение среднего на измерительной поверхности УЗД с учетом коррекции на фоновый шум;
- 6) расчет УЗМ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц и расчет скорректированного по А УЗМ.

По результатам анализа шумовых характеристик всех ИШ было определено, что:

1) наибольший вклад в формирование звукового поля при работе предприятия вносят системы вентиляции, в том числе системы выпуска и аспирации. Также значительный вклад вносит технологическое оборудование (электродвигатели, конвейерные линии и пр.) и грузовой транспорт.

2) УЗМ ИШ на предприятиях варьируются в широком диапазоне, например, для скорректированного по А УЗМ разброс значений составляет от 66 до 116 дБА.

Для определения характера распространения шума от предприятия на прилегающие к нему территории была разработана методика измерений, которая предусматривает разбиение территории, прилегающей к промышленному предприятию, на квадраты с линейными размерами 100 метров и размещение в узлах полученной сетки точек измерений (ТИ). На расстояниях 600 м, 700 м и 800 м точки размещались со смещением относительно главной оси сетки для снижения влияния строений, расположенных на пути распространения шума.

Измерения проводились в периоды наименьшей активности фоновых ИШ. Влияние помех устранялось как при проведении измерений, так и на этапе постобработки. Величина расширенной неопределенности измерений по уровню звука во всех точках по каждой серии измерений не превысила $\pm 1,5$ дБА.

Схема расположения точек измерений представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема расположения точек измерений

Для сравнения и анализа полученных результатов для точек измерений расположенных на расстоянии 100 – 500 метров, рассчитывались средние значения,

полученные в точках, расположенных на одном расстоянии от линии отсчета. Средние значения на разных измерительных расстояниях представлены в таблице 1.

Таблица 1. УЗД и УЗ на измерительных расстояниях 100 – 800 метров

№ п/п	Расстояние, м	Средние УЗД, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Средний УЗ 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.

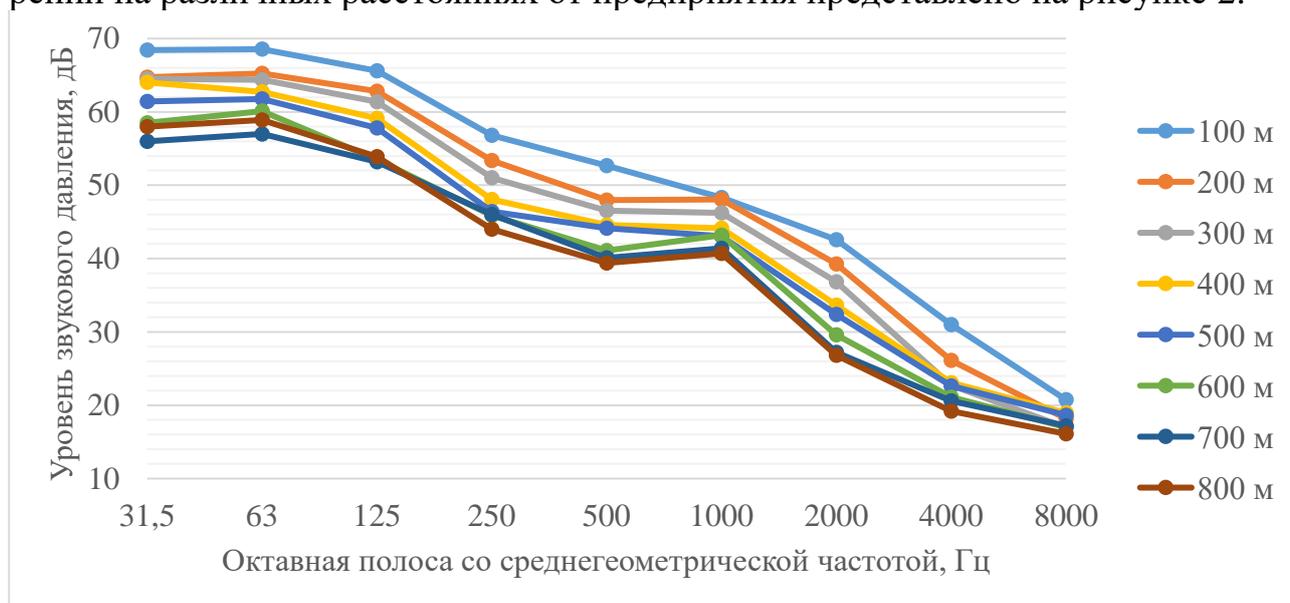


Рисунок 2 – Спектральное распределение УЗД на различном расстоянии от предприятия

Характер снижения шума с увеличением расстояния соответствует логарифмическому закону.

Результаты измерений уровней звука в точках измерений на различных расстояниях от предприятия представлены на рисунке 3, а на рисунке 4 представлены значения снижения уровней звука при удвоении расстояния.

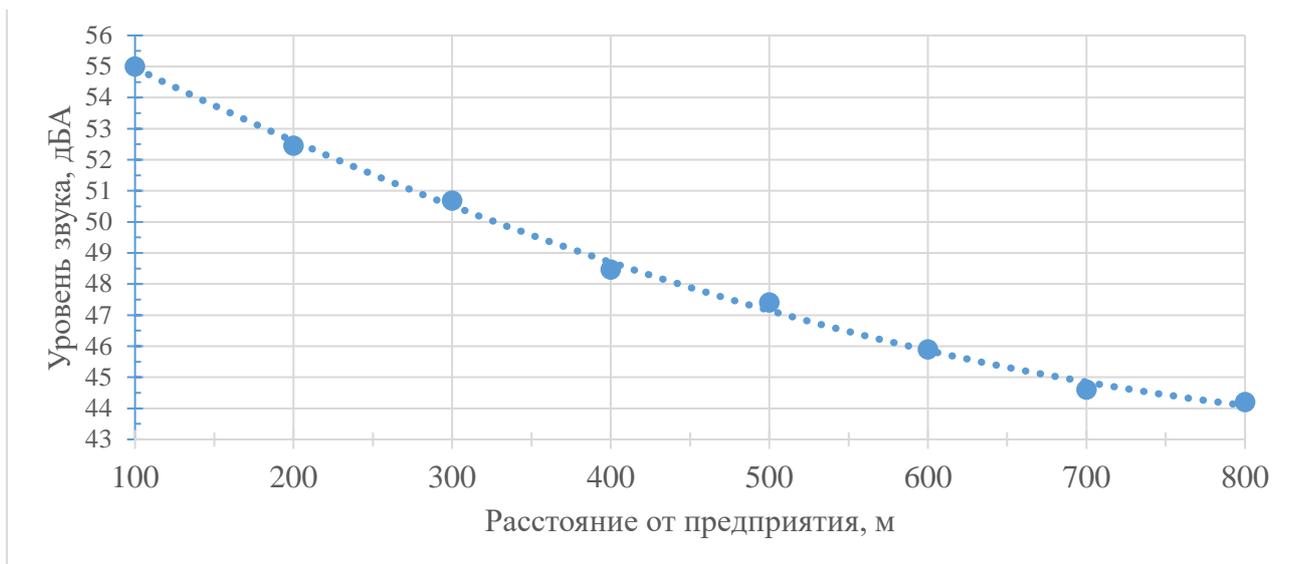


Рисунок 3 – Средние УЗ на различных расстояниях от предприятия

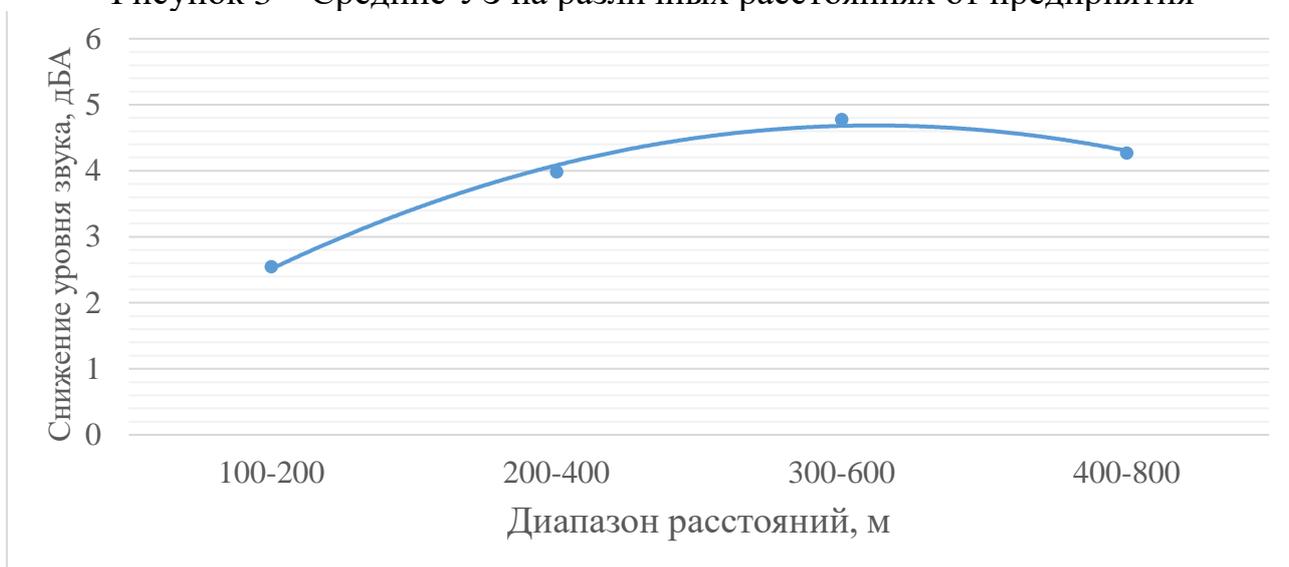


Рисунок 4 – Снижение УЗ при распространении звуковой волны

Величина снижения шума при удвоении расстояния от предприятия соответствует закономерности теории трансформации звуковых полей: плоская волна с увеличением расстояния переходит в цилиндрическую, а затем в сферическую, при этом границы перехода размыты – здесь возникают переходные типы звуковых волн: квазиплоская и квазцилиндрическая.

Для оценки шума на селитебной территории и границе СЗЗ были выполнены измерения УЗ и УЗД в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц в 10 контрольных точках. Измерения выполнялись в соответствии с требованиями методики измерений ГОСТ 23337-2014. Расположение ТИ представлено на рисунке 5.



Рисунок 5 – Схема расположения ТИ на границе СЗЗ предприятия и в ближайшей жилой застройке

По результатам измерений не выявлено превышений над предельно допустимыми уровнями (ПДУ) во всех точках измерений в дневное время. Результаты измерений для ночного времени приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты натурных замеров на границе, существующей СЗЗ и на селитебной территории в ночное время суток

№ точки	УЗД, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									L _A , дБА	L _{Amax} , дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
КТ-1	61	62	52	49	49	45	35	24	15	49	50
КТ-2	64	65	61	53	51	45	37	22	11	52	52
КТ-3	64	65	59	48	46	41	31	16	11	48	48
КТ-4	61	52	49	38	37	30	19	13	12	38	38
КТ-5	58	56	49	40	43	37	23	15	12	42	42
КТ-6	55	53	49	42	41	35	21	18	16	41	42
КТ-7	53	51	51	43	40	36	24	12	11	42	42
КТ-8	55	51	44	38	40	34	20	16	13	39	40
КТ-9	60	59	55	43	45	38	30	28	20	45	45
КТ-10	62	60	56	43	46	42	30	16	13	47	47
ПДУ СанПиН 1.2.3685-21	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

Характер шума во всех точках измерений – постоянный широкополосный без тональных и импульсных составляющих. Были выявлены превышения над ПДУ до 7 дБ по УЗД в частотном диапазоне 125 Гц – 1000 Гц в 5 ТИ и по УЗ до 7 дБА в 4 ТИ.

Спектральный состав УЗД в точках измерений соответствует спектрам ИШ на предприятии с учетом снижения шума при распространении.

В третьей главе диссертационного исследования изложены результаты теоретического исследования и выполнен расчет внешнего шума от промышленного предприятия с множественными источниками шума. Предложены правила определения значимых ИШ на территории предприятия, разработана математическая модель, описывающая процесс излучения шума предприятием, аппроксимированным в качестве плоского источника шума, а также на основе предложенной математической модели разработаны формулы для расчета снижения шума от предприятия при распространении на местности.

Для определения УЗМ предприятия аппроксимированного в качестве плоского источника были выполнены 3 последовательных задачи:

- 1) Инвентаризация ИШ на территории промышленного предприятия и определение перечня источников, которые целесообразно учитывать для дальнейших расчетов;
- 2) Определение линейных параметров, площади и высоты размещения плоского источника;
- 3) Оценка влияния высоты источников, в том числе высоты площадок на которых расположены ИШ, кровель зданий, фасадов с вентиляционными установками и т.д.

Расчет УЗМ аппроксимированного плоского источника выполнялся методом энергетического суммирования УЗМ значимых точечных источников, расположенных на территории предприятия. В качестве исходных данных по акустическим характеристикам оборудования были приняты измеренные УЗМ ИШ.

Учет всех ИШ при выполнении расчетов нецелесообразен, так как вклад многих источников в формирование звукового поля даже на малом удалении от предприятия пренебрежимо мал и приводит к усложнению расчета. К ИШ, которые целесообразно включать в расчет, относятся источники с наибольшими УЗМ.

Для разработки правила отбора значимых ИШ, которые целесообразно включать в дальнейший расчет, был выполнен анализ величины вкладов различных источников в формирование звукового поля предприятия. Путем выполнения операции энергетического суммирования УЗМ ИШ было определено, что при рассмотрении выборки ИШ, для ситуации, когда УЗМ 99 % источников меньше, чем у источника с наибольшими УЗМ, на 30 дБА, вклад этих источников при энергетическом суммировании УЗМ всех источников будет составлять не более 0,4 дБА, и далее при уменьшении доли маломощных источников в выборке их вклад будет уменьшаться. Результаты анализа приведены на рисунке 6.

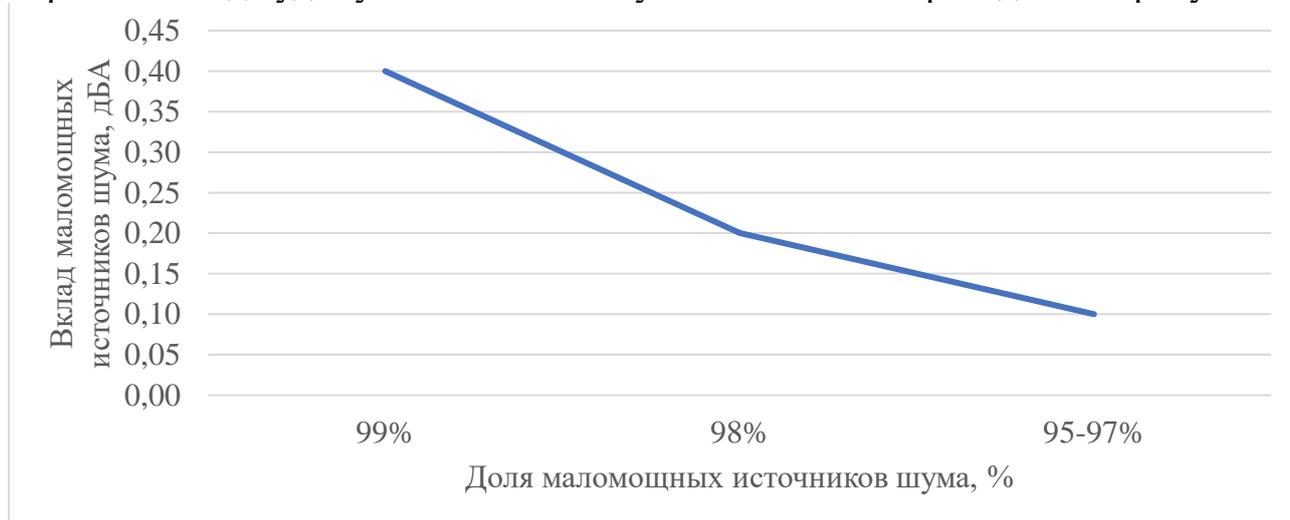


Рисунок 6 – График изменения вклада (при энергетическом суммировании УЗМ) ИШ, УЗМ которых на 30 дБА меньше, чем УЗМ наиболее мощного ИШ

Далее была рассмотрена аналогичная выборка, где разница по УЗМ между источником с наибольшими УЗМ и остальными сокращается до 20 дБА. Результаты анализа приведены на рисунке 7.

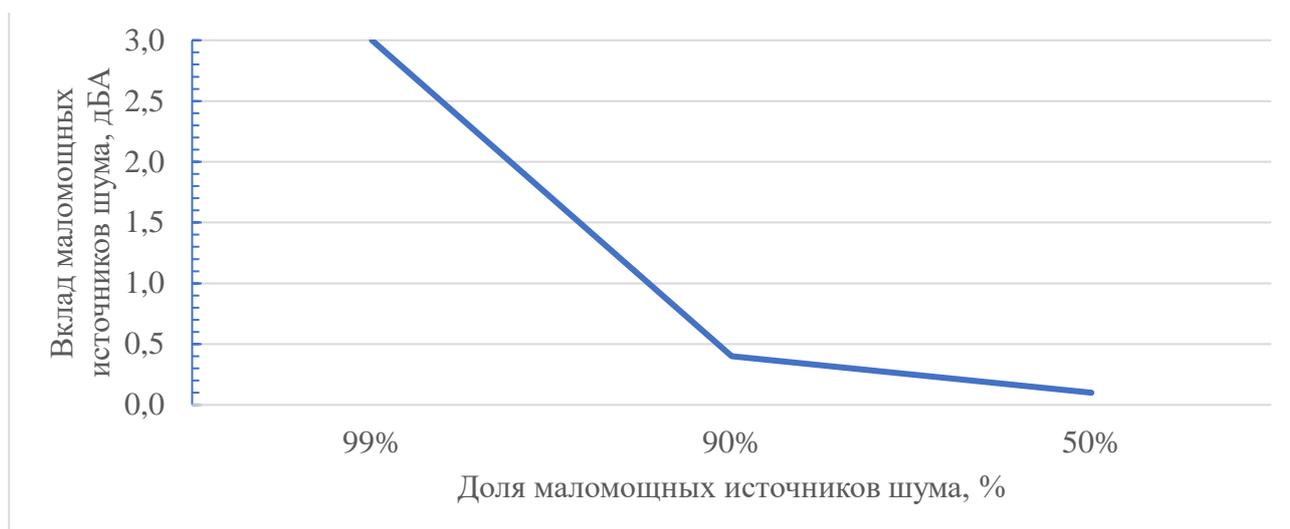


Рисунок 7 – График изменения вклада (при энергетическом суммировании УЗМ) источников шума, УЗМ которых на 20 дБА меньше, чем УЗМ группы наиболее мощных ИШ

Таким образом, правила выбора ИШ на территории предприятия, которыми допускается **пренебречь** при расчете УЗМ предприятия, описываются следующим образом:

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

Определение линейных размеров плоского источника шума (ИШ) было выполнено на основе принципа подбора площадки минимальной площади правильной формы (прямоугольник или многоугольник простой формы), которая включает в себя все плоскости и площадки с расположенными на них значимыми ИШ.

Высоту, на которой расположен аппроксимированный плоский источник, предлагается определять по методике ГОСТ 31297-2005 через характеристическую высоту всех значимых источников шума на предприятии, по формуле:

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

где n – количество источников шума;

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

Если на предприятии имеются ИШ, высота которых в 2 и более раза отличается от характеристической высоты предприятия, и если вследствие экранирования и/или характеристик направленности этих источников нет возможности корректно учесть их влияние на результирующий УЗМ предприятия, то отдельно выполняется расчет распространения шума от них с последующим энергетическим суммированием рассчитанных уровней в точке.

Таким образом, в дальнейшем расчете учитывается плоский источник, сформированный группами точечных источников.

Анализ результатов измерений позволил определить размеры плоского ИШ для рассматриваемого предприятия. Результаты показывают, что граница перехода от квазиплоской волны к квазицилиндрической находится примерно на расстоянии 225 метров от предприятия, что соответствует характерному размеру источника шума порядка 700 м. Полученная закономерность позволила предположить, что за размер плоского ИШ следует принимать ту часть площади предприятия, на которой расположены основные значимые источники шума, при этом линейный размер (соответствующий переходу от плоского типа волны к цилиндрическому) определяется периметром данной площадки с площадью около 25900 м². Аппроксимированный плоский источник для объекта исследования представлен на рисунке 8.



Рисунок 8 – Определение размера плоского ИШ

Была предложена математическая модель, позволяющая оценить снижение шума от промышленных источников и базирующаяся на статистической геометрической теории акустики, основу которой заложили З. Маекава и Н.И. Иванов и которую подробно описала и развила М.В. Буторина.

В разработанной модели использованы положения волновой, геометрической и статистической теорий акустики. Звуковое поле в точке на территории застройки формируется вкладом вторичных источников шума. Изначально группа точечных источников на территории предприятия аппроксимируется плоским ИШ, по площади которого равномерно распределяется звуковая энергия.

Распространение шума на прилегающей к предприятию местности происходит от вторичного плоского излучателя звука, который располагается перпендикулярно поверхности земли, и по мере увеличения расстояния переходит в линейный, а затем в точечный источник. Таким образом, происходит трансформация первичного источника во вторичный за счет дифракции звука на кромках зданий. При этом звук от ИШ, попадая к боковому свободному ребру препятствия, распространяется за него с учетом метода огибания, учитывающего линейное распространение звуковой волны, зависящее от линейных параметров препятствия. Коэффициент дифракции принимается для этого свободного ребра. При распространении шума учитываются явления отражения, поглощения, дифракции и дивергенции звука.

При расчетах было принято несколько допущений: плоский ИШ принимается ненаправленным, ИШ некогерентны, все рассматриваемые процессы линейны. Молекулярное затухание звука в воздухе, влияние метеорологических условий, поглощение звука поверхностью и т.п. оценивается по стандартным методикам.

Граничные условия расчета определяются видом звуковой волны. Определение границ перехода звуковых волн, излучаемых зданием как вторичным источником шума, происходит с учетом перехода из одного типа в другой (плоская → квазиплоская → цилиндрическая → квазицилиндрическая → сферическая).

Расчетная схема для оценки распространения шума представлена на рисунке 9.

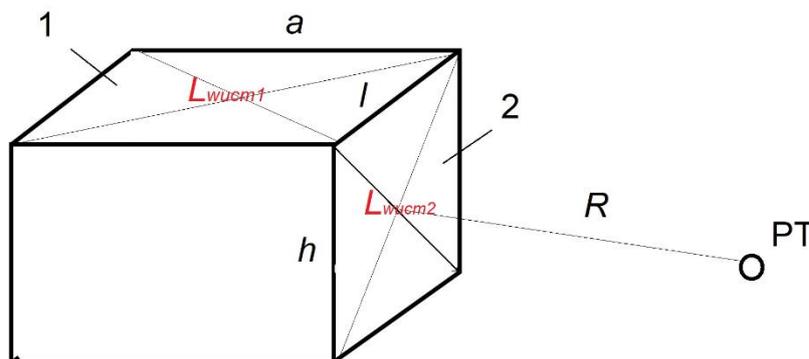


Рисунок 9 – Расчетная схема для расчета распространения шума:

1 – первичный плоский ИШ, 2 – вторичный плоский ИШ, РТ – расчетная точка

Кровля здания аппроксимируется как первичный плоский ИШ, 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 источник звука конечной длины, равной длине здания l (м), с шириной, условно принятой равной 1 м. Акустическая мощность первичного излучателя, расположенного на кровле здания, определяется как:

$$W_1 = I_1 \times l \times 1, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где I_1 – интенсивность звука на кровле здания, Вт/м²;

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:

$$W_2 = I_1 \times (1 - \alpha_{кр}) \times l \times h \times \beta_{диф}, \text{ Вт}, \quad (3)$$

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, как:

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

Подставив (2), (3) в (4) и сделав необходимые сокращения и преобразования, получим:

$$I_{PT} = \frac{W_1(1 - \alpha_{кр})\beta_{оуф}}{2\pi l} \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}}, \text{ Вт/м}^2. \quad (5)$$

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

$$L_{PT} = L_{W1} + 10\lg(1 - \alpha_{кр}) + 10\lg \beta_{оуф} - 10\lg \frac{l}{l_0} + \\ + 10\lg \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}} - 10\lg 2\pi, \text{ дБ}, \quad (6)$$

где $l_0 = 1 \text{ м}$.

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

$$W_2 = I_2 \times l \times 1 \times \beta_{оуф}, \text{ Вт}. \quad (18)$$

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

$$I_{PT} = \frac{W_2}{2\pi R} \arctg \frac{l}{2R}, \text{ Вт/м}^2. \quad (7)$$

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

$$L_{PT} = L_{W1} - 10\lg \beta_{оуф} + 10\lg(1 - \alpha_{кр}) - 10\lg \frac{l}{l_0} - 10\lg \frac{R}{R_0} + \\ + 10\lg \arctg \frac{l}{2R} - 10\lg 2\pi, \text{ дБ} \quad (8)$$

где $R_0 = 1 \text{ м}$.

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

$$W_2 = I_2 \times 1 \times 1 \times \beta_{оуф}, \text{ Вт}. \quad (9)$$

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

$$I_{PT} = \frac{W_2}{2\pi R^2}, \text{ Вт/м}^2. \quad (10)$$

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

$$L_{PT} = L_{W1} + 10\lg \beta_{оуф} + 10\lg(1 - \alpha_{кр}) - 20\lg \frac{R}{R_0} - 10\lg 2\pi, \text{ дБ}. \quad (11)$$

Для анализа предложенных формул, описывающих снижение шума при распространении звуковой волны от плоского, линейного и точечного источника соответственно, был выбран плоский источник, образованный точечными ИШ

на территории исследуемого предприятия, с характеристиками, которые обеспечивают граничные условия для расчета, представленными в таблице 4.

Таблица 4. Граничные условия для проведения расчета снижения шума от ИШ

Длина периметра $l_{\text{лин}}$, 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 $10\lg \beta_{\text{диф}}$ составила 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 имеет разную величину на различных полосах частот. Для расчета в качестве материала покрытия кровли была принята резина на бетонной подложке, что дало величину $10\lg(1-\alpha_{\text{кр}})$ в диапазоне от минус 0,1 до минус 0,6 дБ в зависимости от частоты звука.

Для проверки предложенной расчетной модели был выполнен расчет УЗ в 10 контрольных точках, представленных в таблице 2. При выполнении расчетов было учтено снижение звукового давления вследствие звукопоглощения атмосферой для всех контрольных точек, а также экранирование звука объектами на пути распространения шума от предприятия до контрольных точек № КТ-1, КТ-4, КТ-6 и КТ-7. Оценка сходимости 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, представлена на рисунке 10.

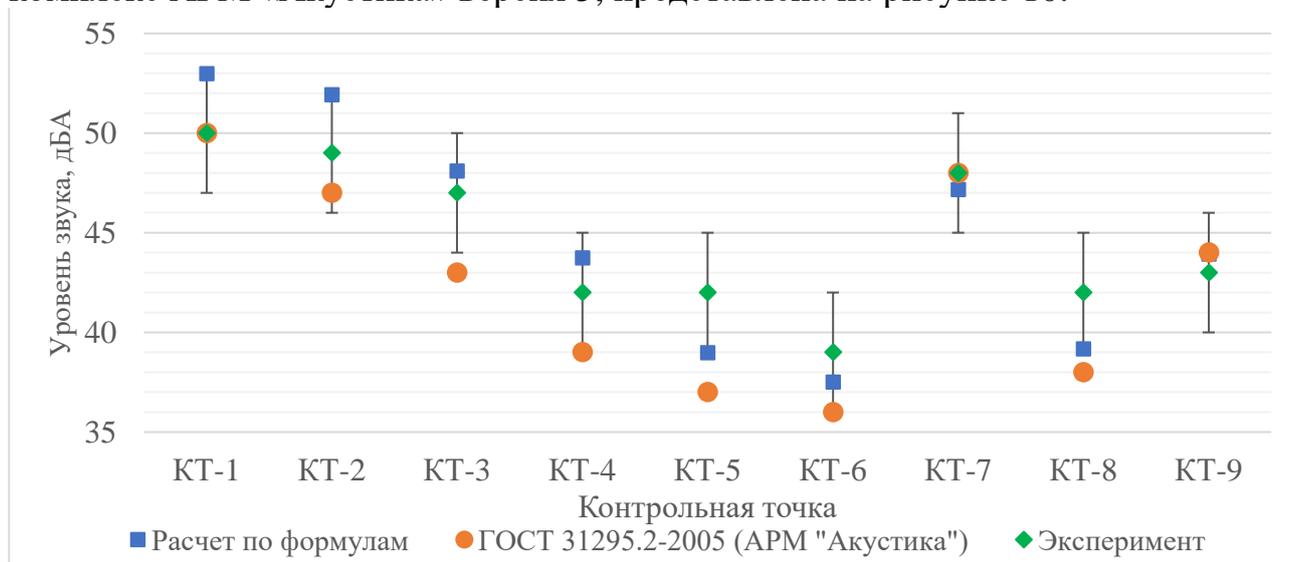


Рисунок 10 – Оценка сходимости результатов расчетов в контрольных точках

Дополнительно был выполнен расчет и проведено сравнение результатов расчетов и эксперимента для точек измерений, расположенных на различном расстоянии от рассматриваемого производственного объекта. Результаты сравнения представлены на рисунке 11.

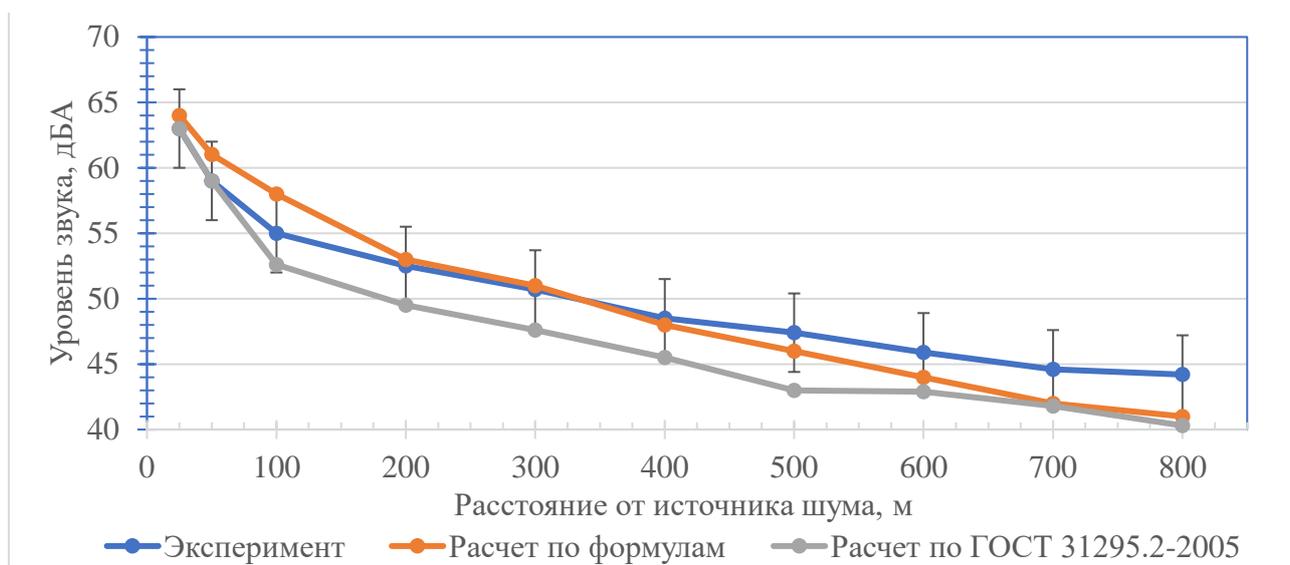


Рисунок 11 – Оценка сходимости результатов расчетов по предложенным формулам для различных расстояний от ИШ

По результатам анализа результатов, представленных на рисунке 11, были сделаны следующие заключения:

- 1) Сравнение результатов расчетов УЗ по предложенным формулам с результатами эксперимента показывает удовлетворительную, в пределах ± 3 дБА, сходимость для расстояний 25 – 800 метров от ИШ;
- 2) Наилучшая сходимость 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.

В четвертой главе были рассмотрены практические рекомендации по снижению внешнего шума от промышленного предприятия. Для реализации практического применения разработанных в исследовании подходов была предложена система зонирования территорий, прилегающих к предприятию.

Согласно представленной в главе 3 математической модели, основными параметрами, оказывающими влияние на формирование звукового поля предприятия, являются: УЗМ и линейные размеры плоского ИШ, а также расстояние от ИШ до расчетной точки. Влияние линейных размеров плоского ИШ учтено через наибольший линейный размер l_{max} , м излучающей части предприятия, то есть части где сгруппированы значимые источники шума. Другие параметры либо изменяются в узких диапазонах, либо оказывают малозначительный вклад в формирование звукового поля на территории.

Пример системы зонирования для прилегающих к промышленному объекту территорий жилой застройки представлен в таблице 3.

Таблица 3. Система зонирования территорий, прилегающих к промышленному предприятию, для жилых объектов

УЗМ предприятия L_{WA} , дБА	Линейный размер плоского источника l_{max} , М	Требуемая суммарная эффективность шумозащитных мероприятий ΔL , дБА при размещении жилого объекта на расстоянии, м от границы предприятия				
		100	200	300	400	500
130	$l_{max} \geq 1000$	-	18	16	15	14
	$600 < l_{max} \leq 1000$	-	-	18	17	16
	$400 < l_{max} \leq 600$	-	-	20	18	17
	$200 < l_{max} \leq 400$	-	-	18	17	15

УЗМ предприятия L_{WA} , дБА	Линейный размер плоского источника l_{max} , м	Требуемая суммарная эффективность шумозащитных мероприятий ΔL , дБА при размещении жилого объекта на расстоянии, м от границы предприятия				
		100	200	300	400	500
	$100 < l_{max} \leq 200$	-	-	20	17	15
120	$l_{max} \geq 1000$	11	8	6	5	4
	$600 < l_{max} \leq 1000$	13	10	8	7	6
	$400 < l_{max} \leq 600$	15	12	10	8	7
	$200 < l_{max} \leq 400$	18	14	8	7	5
	$100 < l_{max} \leq 200$	-	13	10	7	5
110	$l_{max} \geq 1000$	1	+	+	+	+
	$600 < l_{max} \leq 1000$	3	+	+	+	+
	$400 < l_{max} \leq 600$	5	2	+	+	+
	$200 < l_{max} \leq 400$	8	4	+	+	+
	$100 < l_{max} \leq 200$	10	3	+	+	+
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.

Была предложена методика выбора шумозащитных мероприятий, направленная на снижение суммарной звуковой мощности предприятия. Основным принципом выбора мероприятий – в первую очередь снижаются ИШ, вносящие наибольший вклад в формирование звукового поля, то есть обладающие наибольшими УЗМ.

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.

Исходя из анализа шумовых характеристик и номенклатуры ИШ на рассматриваемых промышленных объектах, предложена следующая приоритетность применения шумозащитных мероприятий:

- 1) Глушители шума для снижения шума вентиляционных, аспирационных, компрессорных систем и дизельных генераторных установок;
- 2) Жесткие шумозащитные кожухи с акустическими решетками для снижения шума от технологического и вентиляционного оборудования;
- 3) Звукоизолирующие мягкие облицовки для конвейерных линий;
- 4) Акустические экраны для снижения шума от линейных объектов, например, транспортных объектов предприятия, и от производственных площадок с группами ИШ.

Для всех предложенных средств снижения шума приведена оценка их эффективности и даны рекомендации по применению.

После определения необходимых шумозащитных мероприятий выполняется определение их эффективности. Оценка проводится в два этапа:

- оценка эффективности запланированного комплекса шумозащитных мероприятий по результатам расчетов;
- оценка эффективности по результатам контрольных испытаний после реализации комплекса мероприятий или его части.

Для получения дополнительных сведений о результативности шумозащитных мероприятий также рекомендовано выполнение повторных измерений уровней звуковой мощности ИШ.

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

1) По разработке мероприятий по снижению уровня шума на границе СЗЗ ООО «Белагротерминал», 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.

При выполнении работ по снижению шума от производственно-логистического комплекса ГК «Содружество» при выполнении измерений на границе СЗЗ были выявлены превышения по УЗД до 5 дБ и по УЗ до 3 дБА.

По результатам инвентаризации было выявлено 194 ИШ на территории предприятия, и согласно предложенной в работе методике предприятие было аппроксимировано 3 плоскими ИШ и одним линейным источником – линией железной дороги.

По предложенным правилам была выполнена процедура отбора значимых ИШ: в состав плоского ИШ № 1 вошли 26 точечных ИШ (исключено 49), плоского ИШ № 2 – 38 точечных ИШ (исключено 22) и в плоский ИШ № 3 – 7 точечных ИШ (исключено 11).

Определены основные характеристики аппроксимированных ИШ:

- 1) плоский ИШ № 1: характеристическая высота 26 м, длина 279 метров, ширина 176 метров, эквивалентный скорректированный по А УЗМ 120,8 дБА;
- 2) плоский ИШ № 2: характеристическая высота 28 м, длина 133 метров, ширина 83 метров, эквивалентный скорректированный по А УЗМ 121,8 дБА;
- 3) плоский ИШ № 3: характеристическая высота 30 м, длина 130 метров, ширина 40 метров, эквивалентный скорректированный по А УЗМ 115,4 дБА.

По результатам расчета распространения шума от предприятия и оценки величины их вклада определен перечень из 27 ИШ, для которых была рекомендована разработка шумозащитных мероприятий.

В соответствии с разработанными рекомендациями предложены шумозащитные мероприятия:

- 1) установка диссипативные глушители для аспирационных систем;
- 2) замена вентиляторов вентиляционных систем на малошумные;
- 3) установка звукоизолирующих кожухов на двигательные установки;
- 4) установка прямого акустического экрана вблизи группы градирен;
- 5) применение звукоизолирующего кожуха для конвейеров.

Результаты оценки эффективности реализованных шумозащитных мероприятий на примере контрольной точки № КТ-1-СП представлены на рисунке 12.

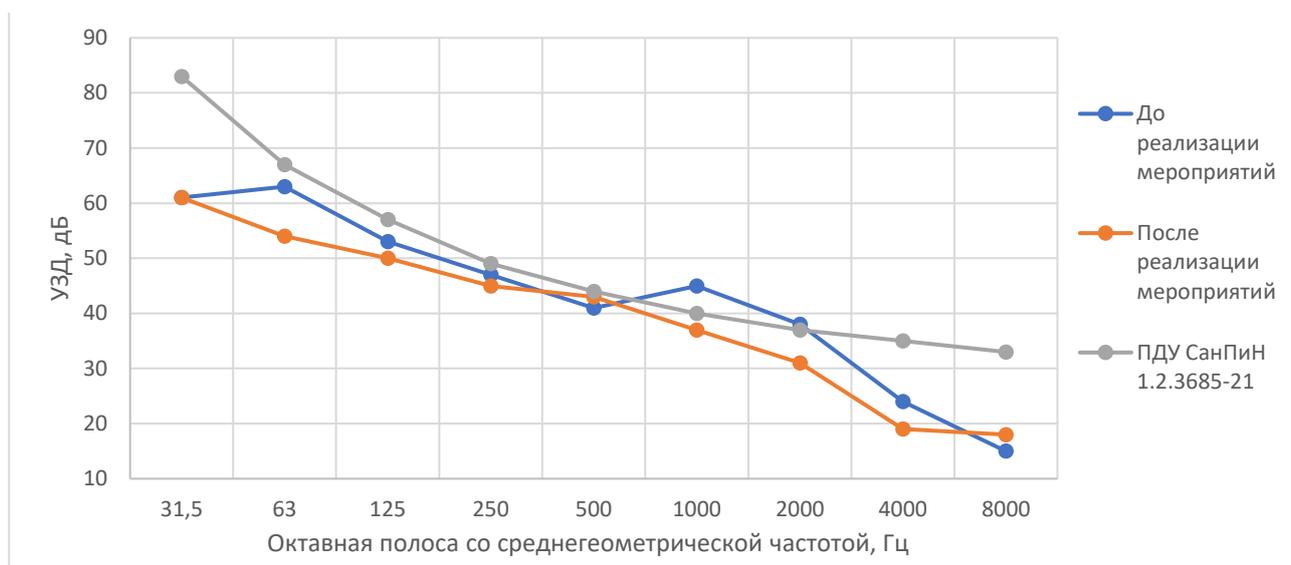


Рисунок 12 – Сравнение результатов измерений до и после шумозащитных мероприятий

Для представленного предприятия был выполнен полный комплекс расчетов и измерений, при помощи разработанной методики определены требуемые величины снижения шума, разработан и выполнен комплекс шумозащитных мероприятий, в результате чего шум на границе СЗЗ и у жилых объектов был снижен до нормативных значений.

Основные вывод и результаты

В результате проведенного исследования была достигнута поставленная цель по разработке научно обоснованного подхода к расчету распространения внешнего шума промышленного предприятия, как от плоского источника, а также разработке рекомендаций по снижению шума, воздействующего на прилегающие к предприятию территории. В работе реализован новый подход к расчету распространения шума от промышленного предприятия с множественными источниками шума, который включает в себя математическую модель, расчетную схему, описывающую процесс распространения шума от предприятия, аппроксимированного в качестве плоского ИШ, а также формулы для расчета прогнозируемых уровней 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 исследования правила по определению значимых источников шума на территории предприятия позволили сократить время выполнения расчетов без потери точности и определить рациональный подход к 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) Выполнены теоретические исследования распространения шума от предприятия. По результатам исследований определено, что закономерности распространения шума от предприятия соответствуют теории трансформации звуковых полей. 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 существен-

ными недостатками применяемых методов расчета распространения шума от множества точечных источников являются высокая ресурсоемкость расчета и необходимость построения сложной компьютерной модели.

2) Разработана методика экспериментальных исследований УЗМ источников шума промышленного предприятия и распространения шума от промышленных предприятий. Предложенная методика позволяет с удовлетворительной точностью проводить измерения шума и шумовых характеристик оборудования в условиях действующего промышленного предприятия. По разработанной методике измерены шумовые характеристики 151 ИШ на территории объекта исследования; эквивалентные скорректированные по А УЗМ ИШ составили от 66 до 116 дБА. Выполнены экспериментальные исследования распространения шума от промышленного предприятия в ТИ, расположенных на расстоянии от 100 до 800 м. Результаты измерений подтвердили корректность аппроксимации предприятия в качестве плоского ИШ.

3) Разработаны правила определения значимых источников шума, оказывающих существенный вклад в формирование звукового поля промышленного предприятия. Применение этих правил привело к снижению трудозатрат для выполнения дальнейших расчетов.

4) Разработана математическая модель и расчетные схемы для оценки распространения шума от предприятия как от плоского ИШ. Основной подход заключается в аппроксимации множества точечных ИШ в качестве плоского источника, который затем через вторичный излучатель в виде кромки ребра плоского источника переходит ко вторичному плоскому источнику, расположенному перпендикулярно земле. Далее выполняется расчет распространения шума от вторичного плоского источника. На основе предложенной математической модели разработаны расчетные формулы; расчет по ним 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 эксперимента.

5) Разработаны рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий для различных ИШ предприятия. В качестве основных средств снижения внешнего промышленного шума рекомендованы: глушители шума для систем аспирации и отдельных элементов вентиляционных систем; звукоизолирующие кожухи с акустическими решетками для снижения шума от технологического оборудования; акустические экраны как средство снижения шума от линейных источников и сконцентрированных групп источников шума на территории предприятия.

6) Разработаны рекомендации по зонированию территорий вблизи промышленных предприятий. Система зонирования позволяет оценить возможность размещения жилых объектов в зоне шумового воздействия предприятия, и оценить требуемую суммарную эффективность шумозащитных мероприятий.

7) Проведена апробация предложенных в данной работе моделей, правил, подходов и рекомендаций. 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 проведенных 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 разработке универсальной методики расчета распространения шума от промышленных предприятий всех типов в соответствии с предложенными математическими моделями, правилами и подходами.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи, опубликованные в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Васильев, А.П. Аппроксимация промышленного предприятия с множественными источниками как плоского источника шума / А. П. Васильев, М. В. Буторина, А. В. Васильева // *Noise Theory and Practice*. – 2025. – Т. 11, № 4(43). – С. 102-110. – EDN LGQKFP. (К2)

2. Буторина, М.В. Расчет распространения внешнего шума промышленного предприятия / М. В. Буторина, А. П. Васильев, А. В. Васильева // *Noise Theory and Practice*. – 2025. – Т. 11, № 3(42). – С. 32-42. – EDN YJHSXO. (К2)

3. Васильев, А.П. 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. – EDN YRIDMK. (К2)

4. Васильева, А.В. Расчет затухания шума железнодорожного транспорта в условиях жилой городской застройки / А. В. Васильева, Л. Э. Забалканская, М. В. Буторина, А. П. Васильев // *Noise Theory and Practice*. – 2024. – Т. 10, № 4(39). – С. 49-58. – EDN LGQKFP.

5. Васильева, А.В. Расчет затухания шума железнодорожного транспорта в условиях сельской застройки / А. В. Васильева, Л. Э. Забалканская, М. В. Буторина, А. П. Васильев // *Noise Theory and Practice*. – 2024. – Т. 10, № 4(39). – С. 59-68. – EDN TZGUNU.

6. Буторина, М. В. Риск-ориентированный подход к оценке шума железнодорожного транспорта / М. В. Буторина, Д. А. Куклин, А. П. Васильев, А. В. Шабарова // *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения*. – 2019. – № 1(73). – С. 28-33. – EDN ZBKLGX.

Статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science и др.:

7. Kuklin, D. Investigation of the contributions of sound sources to external train noise / D. Kuklin, M. Butorina, A. Vasilev // *Akustika*. – 2021. – Vol. 39. – P. 252-257. – DOI 10.36336/akustika202139250. – EDN JVDAHВ.

Статьи, опубликованные в других научных журналах и изданиях:

8. Черняк, В. В. Проблема разделения вкладов источников транспортного шума в условиях городской застройки для разработки шумозащитных мероприятий / В. В. Черняк, А. В. Шабарова, А. П. Васильев // *Молодежь. Техника. Космос : Труды четырнадцатой общероссийской молодежной научно-технической конференции*. В 4-х томах, Санкт-Петербург, 23–27 мая 2022 года. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2022. – С. 44-49. – EDN ZBYZLJ.

9. Черняк, В.В. Совместное применение расчетного и измерительного методов оценки шума железнодорожного транспорта для разработки шумозащитных мероприятий / В. В. Черняк, Д. А. Куклин, М. В. Буторина, А. П. Васильев // Защита от повышенного шума и вибрации : Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 23–25 марта 2021 года / Под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Институт акустических конструкций, 2021. – С. 184-190. – EDN LCMDWM.

10. Буторина, М.В. Особенности нормирования шума транспорта в Российской Федерации / М. В. Буторина, Д. А. Куклин, А. В. Шабарова, А. П. Васильев // Защита от повышенного шума и вибрации : Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 23–25 марта 2021 года / Под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Институт акустических конструкций, 2021. – С. 60-67. – EDN GKOOLB.

11. Васильев, А. П. Оценка шума железнодорожного транспорта как фактора риска здоровью населения / А. П. Васильев, А. В. Шабарова, М. В. Буторина, Д. А. Куклин // Молодежь. Техника. Космос : труды X Общероссийской молодежной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 18–20 апреля 2018 года. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2018. – С. 319-324. – EDN UWERII.

12. Шабарова, А. В. Особенности оценки уровней шума метропоездов на открытых линиях метрополитена / А. В. Шабарова, А. П. Васильев, М. В. Буторина, Д. А. Куклин // Молодежь. Техника. Космос : труды X Общероссийской молодежной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 18–20 апреля 2018 года. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2018. – С. 362-365. – EDN XVQJRV.

13. Васильев, А. П. Оценка уровней акустического загрязнения на территории спортивно-оздоровительной базы / А. П. Васильев, Ю. А. Ли-Ко-шин, В. А. Синькова // Noise Theory and Practice. – 2016. – Т. 2, № 1(3). – С. 34-40. – EDN VOQLOX.

14. Васильев А. Эффективность малых акустических экранов для защиты от шума железнодорожного транспорта / А. Васильев, Ю. Ли-Ко-шин, А. В. Кудаев [и др.] // Noise Theory and Practice. – 2016. – Т. 2, № 3(5). – С. 45-49. – EDN WSWQXD.

Васильев Александр Петрович

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

В печать 24.02.2026. Формат 60×84/16.

Объем 1,4 усл. п. л. Тираж 100 экз. Заказ № __.

Издательство Балтийского государственного технического университета
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1.