

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ»

На правах рукописи



Горбунова Оксана Анатольевна

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ОТ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ РАЗДЕЛЬНОЙ
ВЫРАБОТКИ ТЕПЛА**

05.14.01 – Энергетические системы и комплексы

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор

Павлов Григорий Иванович

Казань – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	5
1	АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАЗДЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛА.....	13
1.1	Общая характеристика объектов энергетической системы Казани..	13
1.2	Анализ научно-технической литературы по виброакустическим характеристикам энергетического оборудования, используемого на районных котельных.....	16
1.3	Современные методы и средства снижения шума и вибрации энергетического оборудования.....	20
1.3.1	Снижение шума в помещениях и от корпусов оборудования методами звукоизоляции и звукопоглощения.....	21
1.3.2	Виброизоляция и вибродемпфирование энергетического оборудования.....	22
1.3.3	Глушители шума.....	29
1.3.4	Кожухи.....	33
1.3.5	Акустические экраны и экранирующие сооружения.....	34
1.3.6	Другие технические решения по снижению шума и вибрации энергетического оборудования районных котельных.....	36
1.4	Выводы по главе 1.....	39
2	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ РАЙОННЫХ КОТЕЛЬНЫХ НА ШУМОВОЕ ПОЛЕ	41
2.1	Экспериментальное определение акустических характеристик и параметров вибрации вспомогательного оборудования предприятий раздельной выработки тепла.....	41
2.1.1	Методика и инструментальное обеспечение проводимых измерений.....	41
2.1.2	Экспериментальные исследования виброакустических характеристик вспомогательного оборудования районных котельных и анализ результатов.....	45

2.1.3	Экспериментальные исследования характеристик шумового поля вне помещений и цехов.....	69
2.1.4	Экспериментальные исследования характеристик шумового поля на территориях жилых зон, прилегающих к районным котельным.....	78
2.2	Установление зависимости уровня шума в ближнем акустическом поле от технического состояния зданий и сооружений, конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных.....	88
2.3	Выводы по главе 2.....	90
3	РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШУМОВОГО ПОЛЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ.....	91
3.1	Современные подходы моделирования в акустике, анализ специализированных программных комплексов.....	91
3.2	Расчетная модель.....	94
3.3	Исходные данные для моделирования акустического поля.....	110
3.4	Расчет параметров акустического поля и создание шумовой карты района исследования.....	111
3.5	Проверка адекватности экспериментально-теоретической модели шумового поля.....	116
3.6	Расчетное определение уровня шума в селитебной зоне, излучаемого энергетическим оборудованием районной котельной..	117
3.7	Разработка мероприятий по снижению шумового загрязнения окружающей среды энергетическим оборудованием районной котельной и оценка их эффективности расчетным методом.....	127
3.7.1	Расчетные исследования по определению влияния акустических экранов на параметры шума в селитебной зоне.....	127
3.7.2	Комплексные технические решения, направленные на снижение шумового загрязнения в окружающей среде и результаты расчетных исследований.....	132

3.7.2.1	Технические решения, направленные на снижение структурного шума оборудования путем уменьшения вибрации.....	133
3.7.2.2	Технические решения, направленные на снижение шума газового редуктора.....	134
3.7.2.3	Технические решения, направленные на снижение шума наружного газопровода.....	135
3.7.2.4	Метод снижения шума на пути его распространения путем использования искусственных барьеров.....	136
3.7.2.5	Расчетные исследования по определению влияния комплексных технических решений на параметры шума в жилителной зоне.....	136
3.8	Расчет показателей эколого-экономической эффективности решений, направленных на обеспечение в жилителной зоне санитарных норм по шуму, выбор технических решений для практического внедрения в производство.....	139
3.9	Выводы по главе 3.....	142
4	РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ РАЗДЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛА	143
4.1	Реализованные технические решения, направленные на снижение шума источников районной котельной.....	143
4.2	Экспериментальные исследования уровня звука в контрольных точках после практического внедрения технических решений.....	147
4.3	Экспериментальные зависимости уровня шума в контрольных точках от технического состояния зданий и сооружений, конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных до и после внедрения шумозащитных мероприятий.....	155
4.4	Выводы по главе 4.....	159
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	160
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	161
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	176
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б	180
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	181
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г	182

ВВЕДЕНИЕ

Энергетические системы городов представляют собой совокупность всех связанных между собой энергетических ресурсов, методов добычи электро- и тепловой энергии, преобразования, распределения и использования ее, а также обеспечение потребителей энергией. Объекты энергетики оказывают на окружающую среду негативное влияние. К негативным факторам следует отнести загрязнение воздуха вредными газовыми выбросами, образование шламов, шлаков, сточных вод и т. д. Кроме этого, работа котельных, ТЭЦ, ТЭС всегда сопровождается образованием шума.

Шум – сочетание звуков различной частоты и амплитуды. Шум мешает восприятию полезных звуков (человеческой речи, сигналов и пр.), нарушает тишину и оказывает вредное действие на окружающую среду и организм человека [142, 144]. Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Шум способен увеличивать содержание в крови таких гормонов стресса, как кортизол, адреналин и норадреналин - даже во время сна. Чем дольше эти гормоны присутствуют в кровеносной системе, тем выше вероятность, что они приведут к опасным для жизни физиологическим проблемам [130]. Круглосуточный режим деятельности предприятий энергетики обуславливает их негативное воздействие на окружающую среду не только в дневные часы, но и ночью. Энергообъекты граничат с жилыми районами часто без организации санитарной защитной зоны. Население, проживающее в этих районах в условиях значительного превышения установленных норм по шуму, отмечает ухудшение самочувствия, головные боли, нарушение сна, функций сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта [3, 16, 59, 67, 71, 120, 144].

Ввиду изнашиваемости оборудования, отклонения от нормативных требований при техническом обслуживании и ремонта энергетических узлов и систем, появления дефектов на ограждающих строительных конструкциях зданий и сооружений с годами шум на предприятиях повышается, что в свою очередь

приводит к возрастанию степени негативного воздействия на окружающую среду. Предприятиям приходится оплачивать штрафы за шумовое загрязнение, которые снижают финансово-экономические показатели энергетического объекта.

Поэтому проблема исследования технологических шумов энергетических систем и комплексов и разработка шумозащитных мероприятий является актуальной. Эффективным путем решения проблемы шума является снижение его уровня в самом источнике. Большое количество источников шума расположены на объектах энергетики, многие рабочие процессы в энергоустановках неизбежно сопровождаются генерацией шума большой интенсивности. Главные источники шума энергетического оборудования, характеризуются, как правило, большими значениями механической мощности, обусловленной высокими скоростями и расходами рабочей среды. Энергия порождаемого шума распространяется в окружающее пространство либо непосредственно по рабочим каналам, либо через стенки корпуса конструкций [2, 65, 105, 119, 120, 122, 135]. Большое количество энергетического оборудования, излучающего шум высокой интенсивности, имеются на крупных районных котельных. К ним следует отнести тягодутьевые машины, водяные насосы, газораспределительные пункты, горелочные устройства, газопроводы и т.д. В совокупности эти агрегаты создают шумовое поле с разными частотными и амплитудными составляющими.

Снижение шума объектов электро- и теплоэнергетики является актуальной задачей. В связи с тем, что на таких объектах имеется большое количество различных источников шума перспективным представляется комплексное решение проблемы.

Степень научной разработанности проблемы. В России над созданием теоретических и практических основ снижения шума занимаются многие известные вузы: МГТУ им. Баумана, Московский государственный университет им. Ломоносова, Политехнический институт имени В.С. Черномырдина, Национальный исследовательский университет «МЭИ» и др. Большой вклад в развитие данного направления науки внесли известные российские и зарубежные исследователи: Е.Я. Юдин, А.И. Белов, Н.И. Иванов, Г.Л. Осипов, А.С. , Медведев

В.Т. , И.Е. Цукерников, А.И. Комкин, Л.Р. Яблоник, Г.А. Хорошев, Ю.И. Петров, Л. Беранек, М.Л. Муньял, Ф.П. Мехель, М. Хекл, Х.А. Мюллер и др. Большой практический вклад в снижение шума теплоэнергетического оборудования внесли: Ф.Е. Григорьян, Е.А. Перцовский, Л.А. Рихтер, В.И. Зинченко, В.Б. Тупов и др. Вопросами защиты зданий, территорий жилых застроек, другими проблемами в области борьбы с шумом занимались и занимаются многие отечественные ученые: В.Ф. Асмнин, Л.А. Борисов, Ю.И. Боровицкий. М.В. Буторина, В.П. Гусев, Г.Д. Изак, Н.И. Иванов, Д.А. Куклин, Б.Ч. Месхи, А.Г. Муни, В.Б. Тупов, Ю.П. Щевьев, Е.Я. Юдин, Л.Р. Яблоник и другие.

Объект исследования: Предприятия отдельной выработки тепловой энергии г.Казани: районная котельная «Азино», районная котельная «Горки», районная котельная «Савиново».

Цель работы: Разработка научно-обоснованного комплекса технических решений по защите окружающей среды от шумового загрязнения предприятиями отдельной выработки тепловой энергии энергетической системы г. Казани.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследовать влияние технического состояния зданий и сооружений, конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных энергетической системы города на шумовое поле при производстве тепловой энергии.

2. Разработать экспериментально-теоретическую модель шумового поля, создаваемого районной котельной в окружающей среде.

3. Теоретически исследовать влияние уровней шума в ближнем акустическом поле зданий и сооружений, конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных на шумовое загрязнение окружающей среды.

4. Разработать технические решения, численными расчетами определить экологические и технико-экономические показатели и, на основе анализа полученных результатов, предложить эффективную и наименее затратную систему шумовиброзащиты.

5. Определить эффективность предлагаемых технических решений после их внедрения на предприятии путем сравнения расчетных и измеренных значений уровней шума в контрольных точках.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Известный метод диагностики машин и механизмов - комплексное измерение и анализ вибро- и акустических сигналов впервые применен для определения акустических характеристик эксплуатируемого вспомогательного энергетического оборудования в ближнем акустическом поле.

2. На основе полученных экспериментальных данных построены зависимости уровня шума в ближнем акустическом поле зданий и сооружений, конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных от видов шумозащитных мероприятий.

3. Разработана научно-обоснованная стратегия снижения шума от энергетического оборудования котельных для снижения шума на территории жилой застройки до санитарных норм.

Теоретическая значимость работы заключается в дополнении имеющейся теоретической базы в области исследований шума, создаваемого технологическим оборудованием объектов теплоэнергетики, результатами численных исследований влияния технического состояния конкретных элементов зданий и сооружений, определенного типа конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных на шумовую обстановку в окружающей среде и в разработке комплекса мер по его снижению.

Практическая значимость работы:

1. Метод комплексного измерения и анализа вибро- и акустических параметров позволил идентифицировать источники шума и установить основные причины повышенного шумообразования вспомогательного оборудования (Районная котельная «Савиново» г. Казань, ТЭЦ -1 г. Набережные Челны).

2. Результаты исследований позволили выработать комплекс технических решений по защите окружающей среды имеющих оптимальные экологические и технико-экономические показатели, направленный на улучшение акустической

обстановки в жилом массиве возле районной котельной «Савиново» г. Казани, а также подтвердить их эффективность (Приложение Г).

Методология и методы диссертационного исследования

Для решения поставленных научных задач использовались следующие методы научного познания: анализ, синтез, моделирование, статистическая обработка и обобщение экспериментальных данных. Моделирование распространения звука на территории проводилось в программном комплексе АРМ «Акустика».

Личный вклад автора

На основе анализа литературных и своих данных автор обосновал актуальность темы исследований, разрабатывал план проведения исследований в районных котельных г. Казани, принимал непосредственное участие в проведении измерений параметров шума и вибрации энергетического оборудования, измерении уровня шума в жилом массиве. Автором проведен анализ полученных экспериментальных данных, разработана экспериментально-теоретическая модель шумового поля исследуемого района, сравнительный анализ опытных и теоретических данных, современных способов и средств шумовиброзащиты, предназначенных для использования на объектах энергетики. Автором сформулированы выводы по диссертационной работе.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Методика определения акустических характеристик эксплуатируемого вспомогательного энергетического оборудования в ближнем акустическом поле на основе анализа вибрационных и акустических сигналов, записанных одновременно.
2. Результаты расчетных исследований уровня шума в жилом массиве в зависимости от количества составляющих, формирующих этот шум.
3. Экспериментальные зависимости уровня шума вспомогательного энергетического оборудования районных котельных в ближнем акустическом поле от видов шумозащитных мероприятий.

4. Результаты экспериментальных исследований уровня шума в жилом массиве в зависимости от выполненных технических мероприятий по снижению шума вспомогательного оборудования.

Обоснованность и достоверность выводов и результатов

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертации подтверждается применением аттестованных измерительных приборов, современных расчетных программных комплексов, сходимостью расчетных результатов и экспериментальных данных, согласованностью полученных результатов с результатами исследований других авторов.

Апробация работы

Основные положения и результаты работы были доложены на V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации» (г. Санкт-Петербург, 2015 г.), на V Международном экологическом конгрессе «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» (г. Тольятти, 2015 г.), на XXVI Международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь» (г. Москва, 2016 г.), на Девятой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России» (г. Москва, 2016 г.), на XI и XII Международной молодежной Научной конференции «Тинчуринские чтения» (г. Казань, 2016-2017 гг.), на Международной научно-практической конференции «Инновационные подходы к решению проблем «Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий на 2015-2030 годы» (г.Казань, 2018 г), на Международной научно-практической конференции Smart Energy Systems-2019 (г. Казань, 2019 г.).

Публикации

Основное содержание диссертации изложено в 12 научных работах, из них 2 статьи опубликованы в изданиях, включенных в перечень ВАК, 1 работа в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, 9 работ – в материалах всероссийских и международных конференций. В статьях, опубликованных в рекомендованных ВАК изданиях, изложены основные

результаты диссертации: (для примера) в работе [30] приведены результаты экспериментальных исследований уровней шума в ближнем и дальнем поле энергетического оборудования, дан сравнительный анализ спектральных характеристик вибро- и акустических сигналов, в работе [142] установлена зависимость влияния технического состояния вспомогательного оборудования объектов теплоэнергетики на уровень шума в окружающей среде, в работе [27] описан алгоритм создания экспериментально-теоретической модели шумового поля жилого района, подверженного шумовому воздействию энергетического оборудования, в работе [29] приведен обзор технической литературы о существующих методах борьбы с шумом на энергообъектах, предложен комплекс технических решений по снижению шума и вибрации энергетического оборудования, дана оценка эффективности предлагаемого комплекса решений с использованием программного продукта АРМ «Акустика».

Соответствие диссертации научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы по формуле специальности: исследования по городским энергетическим системам во взаимосвязи их составляющих частей между собой и окружающей средой; по области исследования: п.4 Разработка научных подходов, методов, алгоритмов, программ и технологий по снижению вредного воздействия энергетических систем и комплексов на окружающую среду.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, четырех приложений. Объем работы составляет 182 страницы, включая 107 рисунков и 16 таблиц. Список использованной литературы состоит из 150 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, приведены внедрение результатов и апробация работы, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость, дано краткое описание диссертации.

В первой главе дана характеристика основной энергетической системы города Казани, проведен анализ научно-технической литературы по основным источникам шума крупных районных котельных, современным методам и средствам снижения уровня шума и вибрации, применяемых на объектах энергетики.

Вторая глава посвящена детальному анализу акустических и вибрационных характеристик энергетического оборудования котельных в период его эксплуатации. Приведены результаты экспериментальных исследований виброакустических характеристик оборудования, а также акустических характеристик шумового поля на территории жилого массива. Установлены зависимости уровня шума в ближнем акустическом поле от технического состояния конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных.

В третьей главе изложены основы и подходы современного моделирования в акустике, рассмотрены возможности современных программных комплексов. Описана методика разработки экспериментально-теоретической модели шумового поля в жилой зоне (на примере районной котельной «Савиново»). На основе расчетных исследований дана оценка эффективности различных технических решений, направленных на снижения шума. На основе анализа полученных результатов, определен эффективный и наименее затратный комплекс технических решений по защите окружающей среды от шумового загрязнения.

В четвертой главе представлены результаты практического внедрения комплекса технических решений на районной котельной. Получены экспериментальные зависимости уровня шума вспомогательного энергетического оборудования районных котельных в ближнем акустическом поле от видов шумозащитных мероприятий, определены показатели экологической эффективности предложенных решений.

Выражаю благодарность коллективам кафедр специальных технологий в образовании (КНИТУ-КАИ), тепловых электрических станций, промышленной теплоэнергетики и систем теплоснабжения (КГЭУ) за советы и замечания, которые были учтены автором при подготовке работы.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ШУМА И ВИБРАЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАЗДЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛА

1.1 Общая характеристика объектов энергетической системы г. Казани

Казань – столица Республики Татарстан, крупный порт на левом берегу реки Волги, при впадении в неё реки Казанки. Один из крупнейших экономических, политических, научных, образовательных, культурных и спортивных центров России. Протяжённость города с севера на юг – 29 км, с запада на восток – 31 км. Территория города Казани занимает площадь 425,3 км².

Территория города Казань делится на 7 административных районов: Авиастроительный, Вахитовский, Кировский, Московский, Ново-Савиновский, Приволжский, Советский.

В настоящее время в Казани функционируют три независимые системы теплоснабжения:

1. Система централизованного теплоснабжения (СЦТ) от источников АО «Татэнерго»: Казанские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, районные котельные (РК) «Савиново», «Азино», «Горки», а также от Казанской ТЭЦ-3 (филиала ОАО «ТГК-16»). Казанские ТЭЦ являются частью объединенной энергетической системы Средней Волги.

2. Система теплоснабжения от котельных АО «Казэнерго» охватывает всю территорию города, большей частью южную и западную, где отсутствуют тепловые мощности вышеуказанных источников.

3. Система теплоснабжения от котельных промышленных предприятий и ведомственных котельных охватывает точно отдельные здания или группы жилых домов, объекты социальной сферы и составляет незначительную часть в тепловом балансе города.

Базовыми источниками отпуска тепловой энергии являются Казанские ТЭЦ и крупные районные котельные (рис 1.1). Именно они обеспечивают большую часть

тепловой нагрузки города. Сложившиеся зоны действия СЦТ покрывают густонаселенные районы города. Зоны действия котельных АО «Казэнерго» и ведомственных котельных распределены по всей территории Казани. Наибольшая их часть находится в южной и западной части города [106].

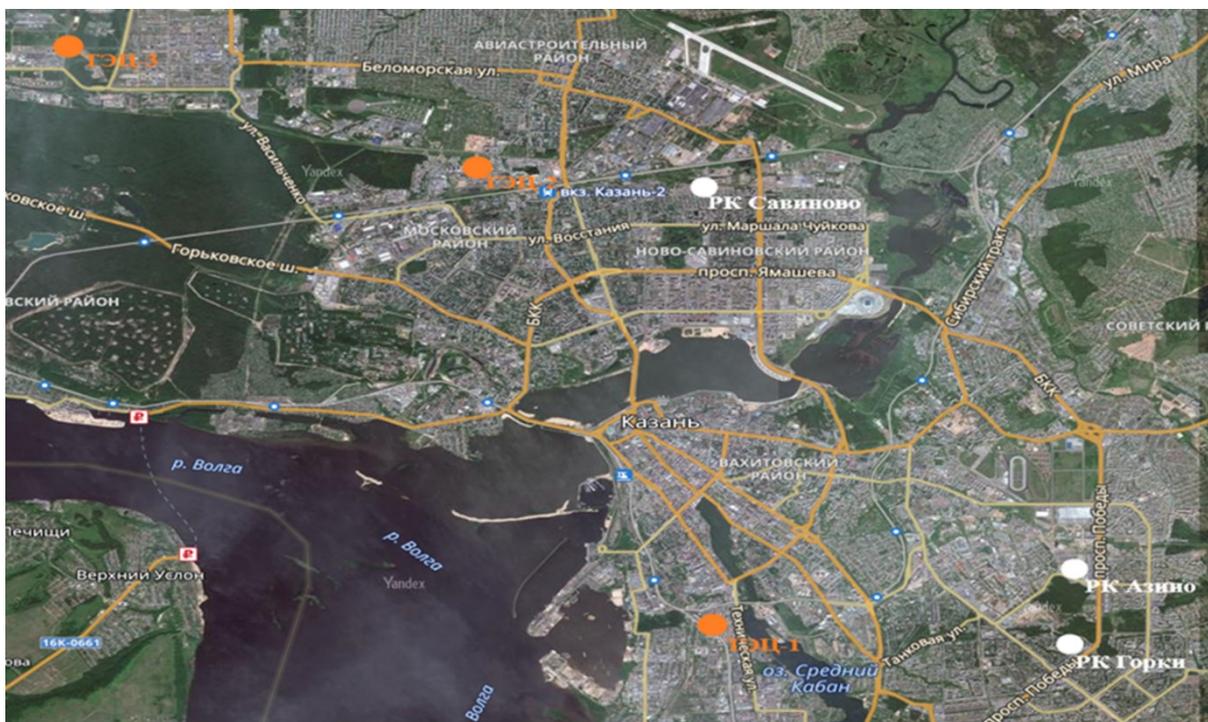


Рисунок 1.1 – Объекты системы централизованного теплоснабжения

Системы теплоснабжения Казани созданы и эксплуатируются в соответствии с ранее обоснованными температурными графиками (150/70, 130/70, 115/70, 105/70, 95/70 °С), рекомендуемыми ведомственными правилами для источников тепла различных типов и мощности.

На крупных источниках, таких как Казанская ТЭЦ-1, Казанская ТЭЦ-2, Казанская ТЭЦ-3 температурный график составляет 130/65 °С. РК «Азино» и РК «Горки» имеют температурный график 131,5/65 °С, а РК «Савиново» - 131,4/65 °С [106].

В системах теплоснабжения, обеспечивающих совместные нагрузки отопления и горячего водоснабжения, предусмотрены изломы графика регулирования. Снижение присоединенной нагрузки на источниках, а так же требования обеспечения надежности теплоснабжения при значительном износе сетей привели к необходимости оптимизации расчетных параметров графика путем

срезки температуры воды в подающей магистрали на уровне 110 – 115 °С. Например, на Казанской ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 температура срезки составляет 115°С [106].

В диссертационной работе исследовались акустические и вибрационные характеристики энергетического оборудования предприятий раздельной выработки тепловой энергии энергетической системы города - районных котельных «Савиново», «Азино», «Горки» АО «Татэнерго», а также акустические характеристики формируемого им шумового поля на прилегающих территориях.



Рисунок 1.2 - Районные котельные г. Казани:

а- «Савиново», б – «Азино», в – «Горки»

Районные котельные Казани введены в эксплуатацию в 80-90 годах XX века.

Установленная тепловая мощность РК «Савиново» 540 Гкал/ч, в котельной установлены 3 водогрейных котла типа КВГМ-180-50-2. Котел водотрубный, прямоточный, Т-образной сомкнутой компоновки, спроектирован для работы на газе и мазуте. На боковых стенках котел оборудован шестью газомазутными горелками. Производительность одной горелки по газу – 3790 м³/ч (1,053 м³/с), по мазуту - 3460 кг/ч (0,961кг/с). Горелки по воздуху выполнены 2-х поточными. Это способствует работе котла при сниженных нагрузках без отключения отдельных горелок (за счет закрытия одного из каналов горелки). Подача воды осуществляется сетевыми насосами СЭ-2500-180 (привод от электродвигателя 4А3М-1600/6000 УХЛ4). Тягодутьевые механизмы котла КВГМ-180: дутьевой вентилятор ВДН-26-11-У - центробежная машина одностороннего всасывания правого вращения

(электропривод ДАЗО-217-44-8/1СУ1, который соединяется с валом ходовой части вентилятора при помощи упругой втулочно-пальцевой муфты; дымосос ДН 24х0,62 ГМ для отсоса дымовых газов из котлоагрегата (электропривод - ДАЗО-217-44-8/ЮУ1); дымосос рециркуляции ВГДН-21 - центробежная машина левого вращения одностороннего всасывания, служит для подачи дымовых газов рециркуляции (электропривод - ДАЗО -4.400У-6У1).

Тепловая мощность РК «Азино» составляет 360 Гкал/час, в котельной установлены два котла типа ПТВМ-180. Котел ПТВМ-180 башенного типа, водотрубный, радиационный прямоточный, с принудительной циркуляцией. Котел оборудован 20 газомазутными горелками МГМГ-10 (по 10 горелок, установленных с фронта и тыла топки) с индивидуальным дутьевым вентилятором Ц-13-50 на каждой горелке. Разрежение в топке осуществляется за счет двух дымососов марки Д20×2. Подача воды осуществляется сетевыми насосами СЭ-2500-180.

Тепловая мощность РК «Горки» 200 Гкал/час обеспечивается четырьмя котлами ПТВМ-50. Котёл водогрейный ПТВМ-50 выполнен водотрубным, прямоточным с П-образной сомкнутой компоновкой поверхности нагрева. Котёл оборудуется двенадцатью газомазутными прямоточно-вихревыми горелками ГМПВ-6, расположенными на боковых сторонах по 6 штук. Каждая горелка снабжена индивидуальным дутьевым вентилятором ВЦ-14-46№4. Насосный парк представлен сетевыми насосами СЭ-800-100 и новым насосом КРВ6015-1/2.

1.2 Анализ научно-технической литературы по виброакустическим характеристикам энергетического оборудования, используемого на районных котельных

Известные российские и зарубежные исследователи: Е.Я. Юдин, А.И. Белов, В.Б. Тупов, Гусев В.П., Н.И. Иванов, Д.А. Куклин, Б.Ч. Месхи, А.Г. Мунин, и др. [2, 65, 105, 119, 120, 122, 135] отмечают, что основными источниками шума на действующих предприятиях отдельной выработки тепловой энергии являются дымососы, дутьевые вентиляторы, газораспределительные пункты, газопроводы,

трансформаторы, компрессорные установки, водогрейные котлы, различные насосы. Главные источники шума энергетического оборудования характеризуются, как правило, большими значениями механической мощности, обусловленной высокими скоростями и расходами рабочей среды. Энергия порождаемого шума распространяется в окружающее пространство либо непосредственно по рабочим каналам, либо через стенки корпуса конструкций [29].

К высокоинтенсивным источникам шума районных котельных относятся тягодутьевые машины (ТДМ). Основной шумовой характеристикой ТДМ являются уровни звуковой мощности (УЗМ). УЗМ осевых тягодутьевых машин может достигать значений 140-150 дБ, центробежных - до 135 дБ. Уровень звука при таких УЗМ около корпуса ТДМ составляет до 110 дБА [118]. Уровень шума от ТДМ в окружающем районе распространяется на дальние расстояния, до нескольких километров. Работа ТДМ вносит существенный вклад в превышения санитарных норм по шуму в окружающей среде. Шум ТДМ имеет в основном аэродинамическую природу происхождения. У правильно выполненной и эксплуатируемой ТДМ механический шум от подшипников, так же, как и шум, передаваемый по стенкам конструкций от корпуса к газоходам (структурный шум), при наличии компенсаторов, как правило, незначителен. Различают три пути распространения шума, влияющего на окружающую среду: от корпуса, воздухозабора дутьевого вентилятора, устья дымовой трубы, излучаемого шум от дымососов [117]. В отсутствие мероприятий по шумоглушению суммарный шум всех источников систем тяги и дутья может распространяться на прилегающую территорию застройки на глубину 2,5 – 4 км [18, 50, 51, 118, 117, 120, 122].

В районных котельных широко применяются водогрейные котлы типа КВГМ и ПТВМ. Отличия между ними следующие: котлы ПТВМ работают на самотяге, а котлы типа КВГМ для эвакуации дымовых газов используют дымососы. При стандартной компоновке у котла типа ПТВМ отсутствуют внешние газоходы. Верхняя часть котла заканчивается металлической дымовой трубой, которая устанавливается на каркасе котла [117].

Длина внешних газоходов котла КВГМ составляет примерно 30 м, и подсоединяются газоходы обычно к отдельно стоящей металлической трубе. Диаметры дымовых труб для котлов равны: ПТВМ-100 - 3,2 м, для котлов ПТВМ-50 - 2,5 м, а для КВГМ-20 - 1,8 м [116, 117]. Шум газового тракта котла типа ПТВМ определяется процессами горения внутри топки и шумом дутьевых вентиляторов, а шум от котлов типа КВГМ - работой дымососа. Этим объясняется то, что в спектре шума при работе котлов типа ПТВМ преобладают низкочастотные составляющие, а при работе котлов КВГМ - составляющие, соответствующие лопаточной частоте дымососа. Изменение горелочных устройств, а также использование для эвакуации дымовых газов трубы, футерованной внутри кирпичом, существенно изменяет уровень излучаемого шума от газового тракта котлов. При стандартной компоновке, по результатам измерений, снижение уровня звуковой мощности в газовых трактах котлов типа ПТВМ составляет 2-3 дБ, а типа КВГМ - 5-6 дБ [117].

Уровень излучаемого шума от энергетических газозухопроводов для котлов типа ПТВМ зависит от конструкции и производительности горелок, типа и количества дутьевых вентиляторов, а для котлов типа КВГМ - от типа дымососа и режима его работы [117]. Увеличение производительности котлов или отклонение режима работы дымососов от номинального приводит к увеличению излучаемой звуковой энергии [119, 120, 122].

Следующим существенным источником шума в энергетике является дросселирующая арматура [120], используемая для редуцирования давления природного газа в газораспределительных пунктах (ГРП). Уровень звука около ГРП тепловых станций составляет 100 – 105 дБА [29]. Максимальное значение уровней звука в спектре шума приходится на высокие частоты, особенно на среднегеометрические частоты октавных полос 1000 и 2000 Гц. [29, 120, 122].

Для охлаждения большого объема обратной воды применяются градирни. Шум в них вызывает свободное падение воды. Излучаемая звуковая мощность пропорциональна расходу воды, скорости водяных капель в момент падения и глубине воды в бассейне [120]. Градирни являются источниками постоянного

шума. При больших плотностях застройки шум от градирен, достигающий значений 80-87 дБА, может стать важным слагаемым в общем шумовом фоне [120].

В помещениях теплоэлектростанций и районных котельных устанавливается большое количество различных насосов. Питательные, конденсатные насосы находятся в котлотурбинном цехе, а багерные, сетевые, циркуляционные - могут располагаться в отдельном здании. Уровни звука насосов изменяются в диапазоне от 90 до 99 дБА [117].

В соответствии с [31] в стандартах или условиях на машины, механизмы и другое оборудование должны быть приведены их шумовые характеристики. Универсальной шумовой характеристикой машины является спектр уровней звуковой мощности (УЗМ) в октавных полосах частот и скорректированный по шкале А уровень звуковой мощности. Эта характеристика позволяет объективно оценивать шум машин, выполнять расчеты шумового режима на этапе проектирования [120].

Предельно допустимые шумовые характеристики технологического оборудования энергетических предприятий содержатся в его технической документации. Для технологического и инженерного энергетического оборудования, создающего постоянный шум, основными характеристиками являются уровни звуковой мощности (дБ) в восьми октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63-8000 Гц (октавные уровни звуковой мощности) и скорректированный по шкале А уровень звуковой мощности (дБА), дополнительными – уровни звукового давления в октавных полосах частот (дБ) [101]. Для энергетического оборудования, создающего непостоянный шум, основные шумовые характеристики - эквивалентные уровни звуковой мощности в октавных полосах частот (дБ), эквивалентный скорректированный по шкале А уровень звуковой мощности (дБА), дополнительные – эквивалентные уровни звукового давления в октавных полосах частот (дБ), эквивалентные уровни звука (дБА) и максимальный уровень звука (дБА) в контрольных точках [105].

Для измерения шумовых характеристик, в том числе и энергетического оборудования, существует несколько методов: точные, технические и

ориентировочные. Точными методами возможно измерение шумовых характеристик только части энергетического оборудования, имеющего небольшие габаритные размеры, осуществляющееся с помощью реверберационных [46, 120] либо заглушенных [41] камер, как правило, специализированными организациями. Технические методы дают [47, 48, 120] меньшую точность, но допускают проводить измерения в помещениях большого объема или в открытом пространстве. В некоторых случаях для определенного вида оборудования могут применяться специальные стандарты. Наиболее применим для определения шумовых характеристик энергетического оборудования ориентировочный метод по [49], который обеспечивает приемлемую для акустических расчетов точность [120]. В таблицах 1 и 2 (Приложение А) приведены ориентировочные шумовые характеристики оборудования тепловых станций для предварительных расчетов внутри помещений и на открытом воздухе [105, 120]. Из таблиц видно, что энергетические установки генерируют шумы высокой интенсивности. Требования природоохранного законодательства, отраслевых стандартов [105, 123, 124] подразумевают проведение предварительных оценок шумового загрязнения окружающей среды и, в случае превышения санитарных норм, осуществление шумозащитных мероприятий еще на этапе проектирования ТЭС, районных котельных и других энергообъектов.

1.3 Современные методы и средства снижения шума и вибрации энергетического оборудования

Для борьбы с шумом и вибрациями и обеспечения регламентированных уровней шума рабочей зоны энергетических предприятий и в окружающей среде необходимо проведение целого комплекса инженерно-технических мероприятий. Большое значение имеет планирование методов борьбы с шумом и вибрациями, которому предшествует анализ производственных условий для выявления наиболее вредных производственных участков [29].

Перспективным направлением снижения шума является создание малошумных машин, оборудования и средств транспорта. Еще на стадии проектирования технологических процессов и производственных зданий создание мер по снижению шума до уровней, регламентированных санитарными нормами, является важным показателем качества. Этот путь достаточно сложный и не всегда приносит ожидаемый результат. Поэтому, важное место при борьбе с шумом и вибрацией занимают методы, снижающие эти неблагоприятные факторы производственной среды на пути их распространения [3, 19, 79, 98].

Имеется достаточное количество публикаций [3, 4, 10, 11, 24, 54, 64, 65, 85, 94, 118-120, 135-137, 139, 141, 146], в которых описаны причины возникновения и варианты борьбы с шумом и вибрацией энергетического оборудования.

1.3.1 Снижение шума в помещениях и от корпусов оборудования методами звукоизоляции и звукопоглощения

Звукоизоляция и звукопоглощение очень широко применяются в целях защиты от шума в цехах и других помещениях. Для звукоизоляции используются физические пространственные преграды, препятствующие распространению шума, а для звукопоглощения – покрытия, наносимые на отражающие поверхности (потолок или стены), или штучные поглотители, располагаемые в пространстве помещения [65]. Наносимые звукопоглощающие материалы (ЗПМ), уменьшают интенсивность отраженных ими волн за счет преобразования звуковой энергии в тепловую [120]. Критерием выбора звукопоглощающего материала является соответствие максимума в частотной эффективности материала максимуму в спектре снижаемого шума в помещении [120]. Материалы, покрытия, наносимые на корпуса, тракты кроме теплоизолирующих свойств обладают также звукоизолирующей способностью, это асбест, базальтовое волокно, асбоперлит. Отечественный и международный практический опыт покрытия ЗПМ стен и потолков ТЭС, котельных показал возможность снижения шума на 5-7 дБА [65, 119, 120].

Звукоизоляция применяется для уменьшения шума, исходящего из шумных помещений через косвенные пути распространения звука (окна, дверные проемы, ворота), а также от корпусов энергетического оборудования, от паропроводов и газоздухопроводов, находящихся на открытом воздухе [29, 120]. Звукоизоляция относится к строительно-акустическим методам борьбы с шумом и состоит в том, что звуковая волна, падающая на ограждение, приводит его в колебательное движение с частотой, равной частоте колебаний частиц воздуха. В результате ограждающая конструкция сама становится источником звука. Если энергетическое оборудование или помещение, в котором оно находится, будет огорожено определенной конструкцией, то правильный выбор этой конструкции позволит обеспечить необходимое снижение уровня шума [2, 4, 19, 56, 58, 65, 119].

Значительно снизить уровень проникающего звука через неплотности оконных проемов можно с помощью герметизации различными упругими прокладками, звукопоглощающими материалами. Звукоизоляция дверей достигается плотной подгонкой полотна двери к коробке, устранением щели между дверью и полом [3, 4, 10, 11, 65, 119].

Для снижения уровня шума от газоздухопроводов, находящихся на открытом воздухе, применяются ограждающие их звукоизолирующие конструкции, например, жестяные кожухи со слоем звукопоглощающего материала [29].

1.3.2 Виброизоляция и вибродемпфирование энергетического оборудования

Колебания в машинах могут быть полезными, когда само действие машины основано на эффекте колебаний, но чаще являются нежелательными, снижая надежность машин, вызывая шум и оказывая вредное действие на организм человека. Характеристики колебательных систем могут быть уменьшены или ограничены допустимыми пределами путем оптимального выбора параметров соответствующей динамической модели. Однако, когда путем оптимального выбора параметров не удастся снизить уровень колебаний, применяются

дополнительные устройства для защиты – виброзащитные системы [72]. В современной технике широчайшее применение имеет виброизоляция. Виброизоляция является средством для снижения вибрации, создаваемой вращающимися турбинами, станками, испытательными стендами, двигателями внутреннего сгорания, а также для уменьшения вибрации, передаваемой в здания и сооружения, в системы трубопроводов [65]. Виброизолируемый объект может быть сам источником колебаний, от которых должны быть защищены окружающие конструкции [110] или оборудование, либо он изолируется от колебаний связанных с ним конструкций или оборудования. Для виброизоляции машины необходимо установить ее на виброизоляторы, и виброизолировать подходящие к ней коммуникации [4].

Конструктивно виброизоляторы машин могут быть выполнены следующими способами: в виде отдельных опор (пружинные, резиновые или резинометаллические, пневматические, комбинированные и др.), в виде слоя упругого материала, укладываемого между машиной и фундаментом [110], в виде пола на упругом основании [4, 65]. Эффективность современных виброизоляторов достигает 98% [119].

Согласно [100] с целью уменьшения вибраций рекомендуется устанавливать машины с динамическими нагрузками на фундаменты с виброизоляцией. При этом фундаменты машин должны быть отделены сквозным швом от смежных фундаментов: здания, оборудования, а также пола.

Пример виброизоляционных опор фирмы VIBRONA, приведен на рисунках 1.3, 1.4.



Рисунок 1.3 - Виброизоляционная опора для тяжелых машин SP539



Рисунок 1.4 - Виброизоляторы пружинные марки SP 1280

На рисунке 1.5 изображены варианты установки платформ с энергетическим оборудованием и виброизолирующими опорами на фундамент.

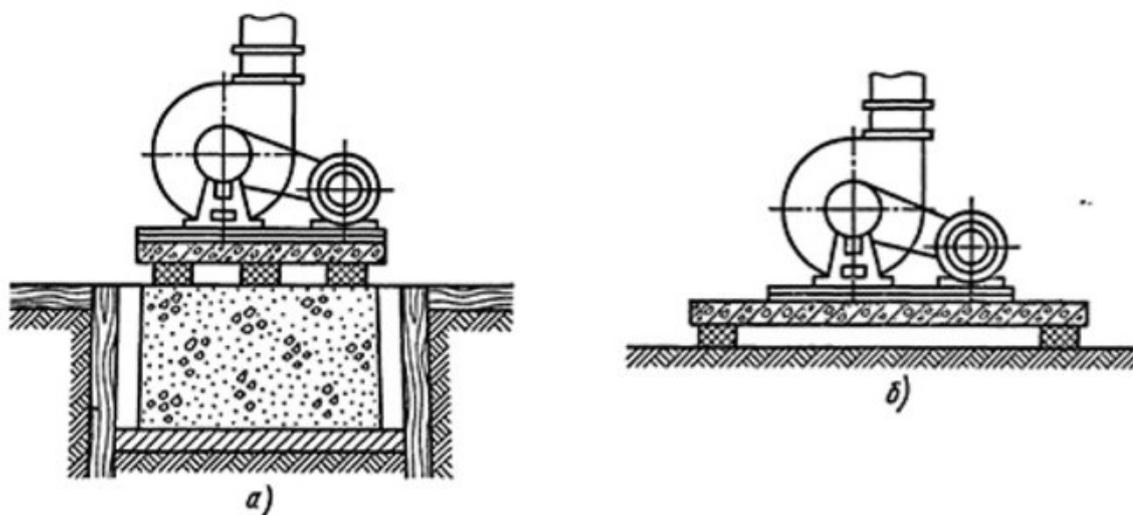


Рисунок 1.5 - Способы установки платформ с энергетическим оборудованием и виброизолирующими опорами на фундамент:

а) на отдельное виброизолирующее основание, б) на общее основание.

Вибродемпфирование (вибропоглощение) – это процесс уменьшения вибраций за счет превращения энергии механических колебаний в тепловую [65] благодаря потерям колебательной энергии, происходящим в обычных конструктивных материалах или в вибропоглощающих материалах и конструкциях [4]. Вибропоглощение приводит к уменьшению колебаний и излучаемого колеблющимися поверхностями звука в окружающую среду. Вибропоглощение осуществляется путем нанесения вибропоглощающих покрытий на готовые

машины и механизмы. Можно выделить четыре группы вибродемпфирующих покрытий: жесткие (поглощение энергии при изгибных колебаниях обусловлено деформациями растяжения - сжатия вдоль поверхности деформируемой пластины, эффективны на низких частотах колебаний); армированные (в результате дополнительного слоя из металла, основное поглощение вибрации определяется деформациями сдвига демпфирующего слоя); мягкие (энергия поглощается, вследствие деформаций растяжения – сжатия в перпендикулярном к поверхности демпфируемой пластины направлении, эффективны на высоких частотах колебаний); комбинированные (многослойные конструкции, сочетающие покрытия различных типов, обеспечивают поглощение вибрации в широком диапазоне частот) [4, 65].

Виброизоляция эффективна при борьбе с шумом, генерируемым различными трубопроводами энергетических предприятий, а также для уменьшения вибрации, передаваемой в системы трубопроводов и вызывающей излучение звука (структурного шума).

По воздушным и жидкостным трубопроводам может передаваться значительная звуковая энергия [120]. Вибрация от насосов центральных тепловых пунктов (ЦТП), переданная по трубопроводам может стать серьезной шумовой проблемой для жителей домов, находящихся от них на расстоянии в десятки и даже сотни метров [117]. Вибрация, возникающая при работе насосов, вызывает колебания несущей конструкции, на которой они расположены. Собственно колебания насосов, а также колебания сопряженных с ними конструкций являются причиной шума не только в насосных, но и в смежных помещениях.

Для уменьшения шума и вибраций насос необходимо ставить на амортизаторы, вес фундамента под насосы должен быть в 3 - 5 раз больше веса двигателя и насоса, вместе взятых. Это способствует приближению центра тяжести к точкам опоры, обеспечивающим устойчивое равновесие. Кроме того, увеличение массивности системы препятствует ее раскачиванию возмущающими силами, которые возникают при работе агрегатов. Насосы должны быть тщательно отбалансированы. Статически отбалансированные роторы насосов снижают

уровни шума на частоте 50 Гц на 25 дБ, 100 Гц - 27 дБ, 200 Гц - 8 дБ, далее снижение уровней шума не наблюдается. Еще больший эффект достигается при динамической балансировке роторов [3, 4, 29, 120].

В энергетике для редуцирования давления природного газа в газораспределительных пунктах (ГРП) широко используется дросселирующая (редукционная) арматура. При дросселировании газов создается газодинамический шум, который обладает большой интенсивностью и достаточно далеко распространяется в газовой среде. Кроме того, этот шум распространяется по металлической стенке трубопровода, вызывая в нем структурный шум. А так как, прокладка газопроводов после ГРП на территории ТЭС выполняется наземной на железобетонных или металлических эстакадах, то возникающий дополнительный структурный шум может являться источником сильного воздействия для окружающего района [64, 94, 119, 120].

Для устранения причин шумообразования и вибрации дросселирующей арматуры рекомендуется в опорные соединения установить вибропоглощающие прокладки, а магистраль газопровода после редуктора оснастить глушителем, покрыть изнутри звукопоглощающим материалом, установить звукоизолирующие кожухи [29].

Схема виброизоляции энергетического оборудования приведены на рисунке 1.6.

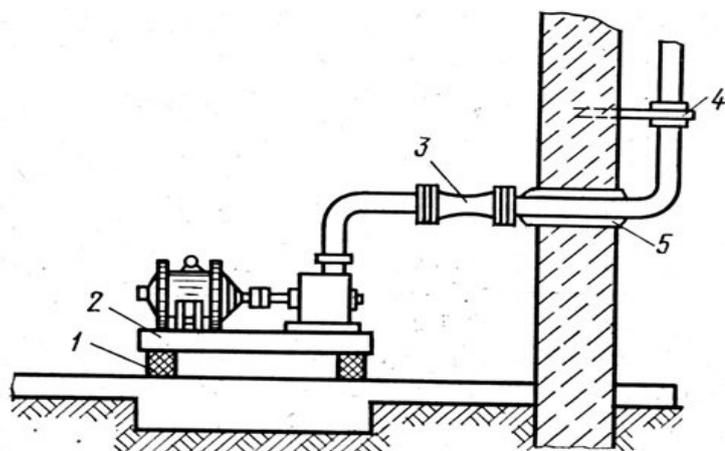


Рисунок 1.6 - Виброизоляция энергетического оборудования:

- 1 - виброизоляторы; 2 - общая платформа (плита); 3 - виброизолирующая вставка (компенсатор); 4 и 5 - виброизолирующие прокладки.

На рисунке 1.7 приведены различные варианты сифонных компенсаторов, предназначенных для компенсации температурных расширений, несоосностей трубопроводов и вибрационных воздействий. Основным элементом сифонного компенсатора - сифон - упругая асимметричная гофрированная металлическая оболочка. Конструкция сифона позволяет компенсатору под действием продольных (ход), поперечных (сдвиг) и угловых (поворот) моментов растягиваться, сжиматься, деформироваться в поперечном направлении и изгибаться со значительными перемещениями (до десятков сантиметров и градусов), сохраняя герметичность [65, 105].



Рисунок 1.7 - Компенсаторы сифонные осевые

Ниже, на рисунке 1.8, показан типовой узел заделки в перекрытии и типовые виброизолирующие подвески для трубопроводов [120].

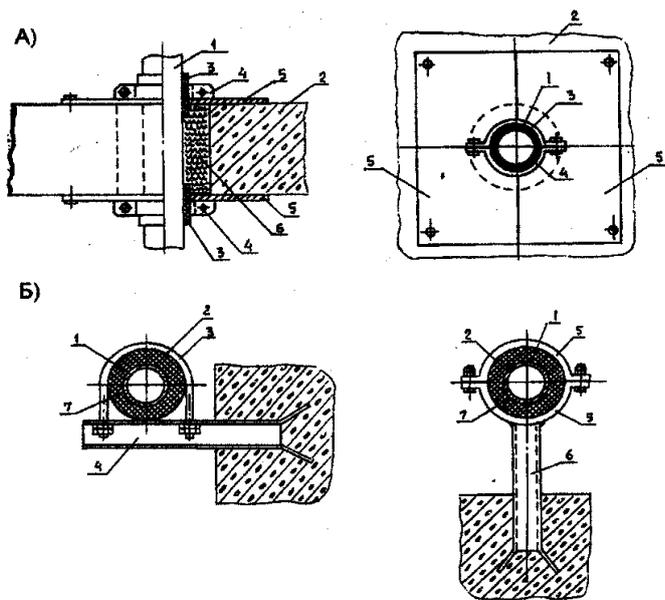


Рисунок 1.8 - Типовой узел заделки в перекрытии и типовые виброизолирующие подвески для трубопроводов *А*: 1 - трубопровод; 2 - перекрытие; 3 - мягкая резина; 4 - хомут; 5 - накладка из стального листа; 6 - минеральная вата; *Б*: 1- трубопровод; 2 - резиновая прокладка; 3 - хомут; 4- кронштейн; 5 - скоба; 6 - хвостовик; 7- паронитовая прокладка (для горячих трубопроводов) [117].

В настоящее время получают распространение виброопоры. Виды крепления трубопроводов на виброопоры показаны на рисунке 1.9 [119].

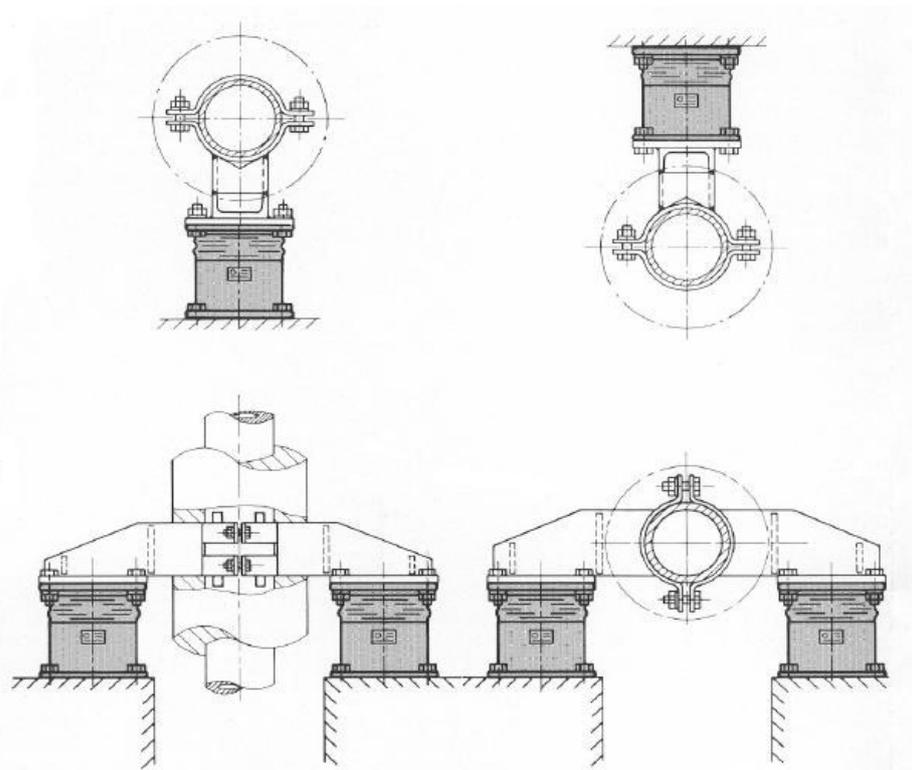


Рис.1.9 - Виды крепления трубопроводов на специальные виброопоры.

1.3.3 Глушители шума

В машинах, двигателях и установках, использующих воздух в качестве рабочего тела, возникает высокоинтенсивный шум, излучаемый через устройства для забора и выброса воздуха и удаления отработанных газов. Для снижения этого шума широко используются глушители, которые в зависимости от назначения, носят названия глушителей выпуска газов или сжатого воздуха, шума всасывания, шума аэродинамических потоков, шума воздухопроводов [65].

Применение глушителей является эффективным методом снижения уровня аэродинамического (струйного) шума в газоздухопроводах, идущих к дутьевым вентиляторам, от дымососных вентиляторов, от газового редуктора и от котлов. Для подавления шума свободной струи применяются различные методы. В частности, активным методом подавления аэродинамического шума является установка сеток в трубчатых глушителях. Это приводит к уменьшению скорости потока, что вызывает уменьшение энергии шума, излучаемого струей. Выбор того или иного типа глушителя определяется необходимым уровнем снижения шума, его спектром, мощностью источника и другими условиями. Важно, чтобы глушители оказывали небольшое гидравлическое сопротивление [29, 64, 94, 136].

Для снижения шума в газоздухопроводах, идущих от дымососов специалистами Московского энергетического института (МЭИ) предложено интересное техническое устройство - одноступенчатый диссипативный глушитель шума, представляющий собой звукопоглощающий материал, размещенный специальным образом по сечению канала. Глушитель шума предлагается устанавливать в прямом горизонтальном газоходе от водогрейного котла к дымовой трубе – в каждом из газоходов по одному глушителю шума. Внутри средней и боковых частей глушителя шума находится негорючий, негигроскопичный звукопоглощающий материал, который защищается от выдувания стеклотканью и перфорированным металлическим листом с коэффициентом перфорации 25%. Для уменьшения аэродинамического сопротивления глушителя на входе центральной пластины глушителя имеется

обтекатель закругленной формы, на выходе - специальный звукопоглощающий элемент. Расчётное аэродинамическое сопротивление глушителя шума составляет около 19 Па и не приводит к снижению теплопроизводительности котла. Общая масса каждого глушителя шума составляет около 420 кг. Данный глушитель шума газовых трактов котлов снижает звуковую энергию как на низких, так и на высоких частотах, а его эффективность составляет 17-29 дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63-8000 Гц [29, 94, 118, 120].

Для снижения шума воздухозаборов дутьевых вентиляторов широко используются экранные глушители (глушители шума всасывания). Ослабление аэродинамического шума здесь достигается путем воздействия на поток, проходящий через глушитель, и снижения его энергии. Для уменьшения энергии потоков или струй используется следующее: изменение движения газового потока или струи путем внезапного расширения или сжатия проходного сечения, поворота потока, удлинения пути его движения, разделения потока и т. п.; совершение потоком (струей) работы; охлаждение газового потока; введение добавочного сопротивления, например трения, при движении потока или струи [65].

Также для снижения шума от устройств вытяжки и нагнетания воздуха на открытых участках могут быть использованы экранные глушители [4]. В таких глушителях изменение направления звукового потока достигается установкой у открытого конца воздухопроводов облицованных экранов. На низких частотах звуковые волны огибают экран, и он практически не влияет на излучение. На высоких частотах излучение из воздуховода поглощается и частично отражается при взаимодействии с облицованным экраном. Диаметр экрана D_a обычно выполняют равным $2d$ (d – диаметр выхлопного канала газозовоздухопровода), толщину облицовки $0,5d$, расстояние от поверхности экрана до среза воздухопроводов $b \leq 0,5d$. Дополнительное гидравлическое сопротивление от введения такого экрана невелико (коэффициент местных потерь $\leq 0,1$) [19].

Вопросам снижения шума и вибрации газотранспортных систем посвящены работы [1, 54, 57, 64, 139, 141, 146]. Существует два метода снижения шума

регулирующей и запорной арматуры: ступенчатое дросселирование и деление (разбиение) потока на мелкие струйки [64].

Одним из вариантов типов устройств для снижения уровня шума клапанов и редукторов давления является глушитель шума редуктора компании Fisher Controls International. Принцип действия основан на разбиении потока газа на большое количество струй и снижение скорости потока. Внешний вид такого устройства Whisper Trim I [64] приведен на рисунке 1.10.

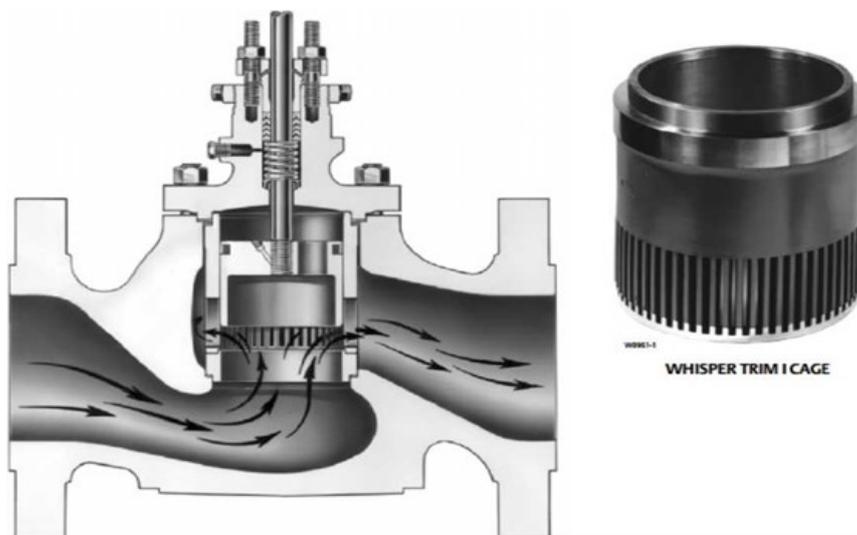


Рисунок 1.10 - Схема течения газа в клапане с делителем потока
Whisper Trim I

Фирма Samson предлагает делители потока, обеспечивающие условие малошумной редукции давления газовой среды, а именно снижение выходной скорости потока, ограничивающие зону турбулентного смешивания и понижающие уровень шума на 30 дБА [64]. Одним из таких делителей потока является картридж Masoneilan LO-DB. Он обладает высокой пористостью и приведен на рисунке 1.11 [64].

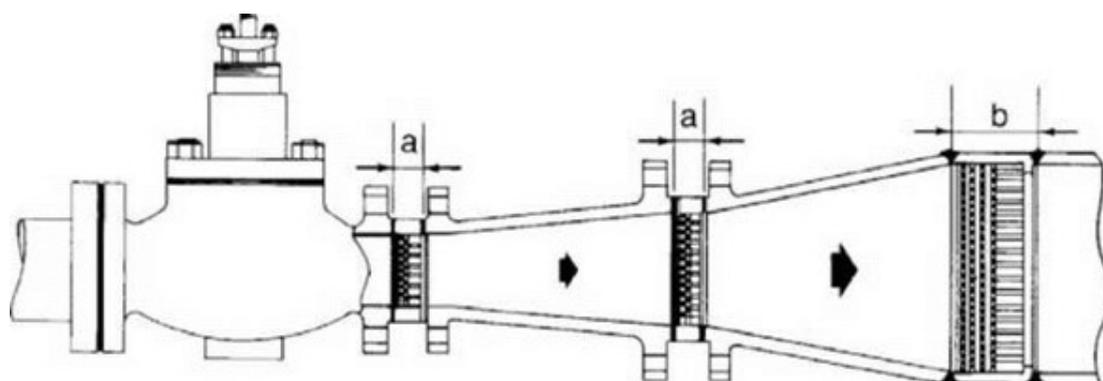


Рисунок 1.11 - Регулирующий клапан с тремя картриджами Masoneilan LO-DB

Принцип действия заключается в том, что картридж LO-DB является статическим устройством, которое создаёт перепад давления в газовой трубе, где ожидается большое снижение давления. В дополнение к нарастающему снижению давления, газовый поток делится на ряд соединенных между собой проточных каналов, которые создают микровихрения потока. Таким образом, не только средняя скорость, а также и скорость молекул газа в каждой точке потока снижается [64].

Другим вариантом устройства для регуляторов давления и установок редуцирования давления газа, излучение шума которых необходимо снижать, является шумоглушитель фирмы Tartarini серии SRS II. Он представляет собой многоходовое и многоступенчатое устройство, встраиваемое в регулятор и позволяющее снижение шума до 30 дБА. Его вид вместе с регулятором в разрезе показан на рисунке 1.12 [64].



Рисунок 1.12 - Регулятор и глушитель шума SRS II фирмы Tartarini

1.3.4 Кожухи

Значительно снизить структурный шум от корпусов энергоустановок позволяет оборудование их кожухами.

Кожухи могут быть стационарными или съемными. Удобство кожухов в том, что они позволяют проводить технический осмотр оборудования. Обычно кожухи выполняют из листовой стали толщиной от 1 до 4 мм и дюралюминия толщиной от 2 до 6 мм. Наибольшая звукоизоляционная способность стенок кожуха достигается нанесением на них звукопоглощающей облицовки. Рекомендуется облицовывать внутренние поверхности кожуха ЗПМ толщиной не менее 50 мм. Эффективность кожухов достигает 30 - 45 дБА [119, 120].

Сегодня на рынке ряд производителей (ООО «Ти-Системс», ООО «Венторус», ООО ПК «Флагман», ГК Корда и др.) предлагают термочехлы - гибкие съемно-разъемные кожухи многоразового использования, изготовленные из высокопрочных технических тканей и теплоизоляционных материалов для применения внутри и снаружи помещения. (рис. 1.13).



Рисунок 1.13 – Внешний вид теплошумоизоляционных чехлов

Форма и габариты чехла подбираются и сшиваются таким образом, чтобы он идеально подходил к форме изолируемого объекта. Крепление чехлов производится с помощью различных видов ремней, шнуров, крючков и т.д. в зависимости от решаемых задач. Для некоторых видов термочехлов специально разрабатывают опорную металлическую раму, придающую им прочность. Термочехлы могут выдерживать температуры носителей до + 1200 °С, а также использоваться в разных химически агрессивных средах, огне- и взрывоопасных

условиях. Помимо теплоизоляционных свойств чехлы имеют высокую степень шумопоглощения. Заявленное производителями снижение шума составляет 30-40 дБА [80, 107, 111, 112, 113].

1.3.5 Акустические экраны и экранирующие сооружения

Акустический экран (АЭ) представляет собой звукоизолирующую преграду на пути распространения звука, имеющую конечные размеры. Свободные стороны АЭ, через которые звук дифрагирует за АЭ, называются ребрами. Работа акустического экрана основана на нескольких принципах акустической защиты, главными из которых являются отражение и поглощение звука [65].

Звуковая энергия на пути от источника шума к расчетной точке падает на физическую преграду - акустический экран. Часть энергии проходит через экран, а часть поглощается им, если он покрыт звукопоглощающей облицовкой, или отражается от него. Часть звуковой энергии дифрагирует на свободном ребре АЭ; при этом, если экран отражающий, то к падающей энергии добавляется энергия отраженного от АЭ звука [65].

Важным элементом в конструкции АЭ является звукопоглощающее покрытие, располагаемое со стороны источника звука, которое заметно повышает эффективность экрана. Отраженная от АЭ звуковая энергия минимальна, когда коэффициент звукопоглощения материала АЭ близок к единице. Дополнительная эффективность АЭ за счет применения покрытия с хорошим звукопоглощением зависит от многих условий, но максимальное значение ее может достигать 4 - 6 дБА [65].

Все акустические экраны по типу применяемого материала, отражающим или поглощающим свойствам делятся на две группы: однослойные (отражающие); многослойные (двух- или трехслойные, как правило, поглощающие) [35, 45, 61-63, 65, 83, 92, 119, 122, 129, 131, 138, 140].

Длина АЭ зависит от протяженности той части жилой застройки, которая защищается экраном. Для определения требуемой длины АЭ руководствуются

принципом: уровень звука ($УЗ$), проходящего через боковые грани АЭ, должен быть на 3 дБА ниже, чем разность между $УЗ$ в расчетной точке без экрана и требуемым снижением шума [61-63, 65, 83]. Для повышения эффективности экранов с целью достижения максимально возможной эффективности рекомендованы экраны изготовленные из щепобетона, звукоизоляция которых в натуральных условиях достигает 30–35 дБА [63].

В работах [10, 11] приведен пример эффективного применения акустических экранов для снижения уровня шума на территории жилой зоны, прилегающей к газораспределительной станции Инженерно-технического центра ООО «Газпромтрансгаз Краснодар». Экран был выполнен из нержавеющей стали, снабжен сборно-разборными металлическими стойками, между которыми установлены звукоизолирующие трехслойные панели. Задняя стенка панели изготавливалась сплошной и обеспечивающей отражение звука, в середине располагался звукопоглощающий материал, который поглощает отраженный звук и не допускает эффекта множественных отражений, а передняя (по отношению к источнику звука) стенка - перфорированная, защищающая ЗПМ от внешних воздействий [10, 11]. Проведенная ранее на станции звукоизоляция трубопровода снизила уровень шума практически на 13 дБА до предельно допустимых уровней в дневное время, но не обеспечивала соблюдения нормативов для ночного времени. А дополнительное установление акустического экрана позволило снизить уровень шума на территории жилой застройки на 25 дБА [10, 11].

Другим результативным примером является применение специалистами МЭИ акустических экранов для снижения шума от источников теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). Были установлены следующие АЭ: около каждой градирни на расстоянии 3 м от их воздухозаборных окон экран высотой 5 м, длиной 100 м, экран для ГРП высотой 7 м и длиной 104 м, по одному экрану на два трансформатора высотой 5 м и длиной 64 м. Экраны были выполнены из панели, облицованные ЗПМ. С лицевой стороны панели АЭ были закрыты гофрированным металлическим листом, а со стороны источников шума – перфорированным металлическим листом с коэффициентом перфорации 25%. Внутри панелей находился негорючий,

негигроскопичный звукопоглощающий материал с плотностью набивки 30 кг/м³. В результате внедрения описанных мероприятий уровень шума в жилой зоне рядом с ТЭЦ стал соответствовать санитарным нормам [122].

Шумоглушающие кожухи также весьма перспективны при глушении шума, излучающего трубами подвода газов или жидкостей. Однако, конструкции этих кожухов в большинстве случаев громоздки и обладают низкими эксплуатационными характеристиками: в весенне-осенний период образуется на них наледь, возникают большие неудобства при их монтаже под карнизом зданий и т.д. Кроме кожухов, для этих целей используются шумоглушающие панели, которые изготавливаются из пористых звукопоглощающих материалов - волокнистых и вспененных [81, 82]. Волокнистые материалы представлены волокнами органического или неорганического происхождения, а вспененные - как правило, открытоячеистыми полимерами (пенополиуретаны, полиэтилены, полихлорвинилы и т.п.) [81, 82, 137].

1.3.6 Другие технические решения по снижению шума и вибрации энергетического оборудования районных котельных

Шум, возникающий в дутьевых и дымососных вентиляторах, складывается из аэродинамического и механического шумов. Колебания конструкции вентилятора являются причиной возникновения механического шума, который обычно имеет ударный характер (удары шариков и роликов по обойме в подшипниках качения, стуки в зазорах, удары в редукторе, приводе и т.п.). Плохая балансировка, вызывающая неуравновешенность вращающихся масс, часто вызывает вибрации. Наличие люфтов, плохое крепление деталей, недостаточная жесткость конструкции усиливают удары и вибрации. В некоторых случаях механические колебания возникают из-за пульсации давления при обтекании потоком воздуха отдельных элементов вентиляционной системы. Спектр этого шума занимает довольно широкую полосу частот; в их числе много высокочастотных составляющих. Причинами аэродинамического шума являются переменные

вихревые потоки, образующиеся при движении воздушной струи. Вихревой шум создается плохо обтекаемыми вращающимися стержнями, к которым можно отнести лопасти вентиляторов. Уменьшить аэродинамический шум можно рядом конструктивных мероприятий, выполнение которых возможно в процессе проектирования и изготовления вентилятора, а также выбором вентилятора с соответствующими характеристиками [3, 4, 29, 118].

Снизить интенсивность наиболее неприятной лопаточной частоты радиального вентилятора можно применением скошенного языка, увеличением расстояния между языком и колесом («свободный спиральный корпус», делая язык закругленным «хорошо обтекаемым»). Возможно применение цилиндрических корпусов вместо спиральных. Внутренняя облицовка спирального корпуса радиального вентилятора звукопоглотителем может дать снижение шума на 6 - 10 дБ на средних и высоких частотах, сохраняя при этом форму и размеры проточной части [4, 29].

В процессе монтажа вентилятора рекомендуется выполнять следующие требования [3]:

- кроме статической балансировки рабочего колеса вентилятора применять динамическую балансировку;
- использовать клиновидную ременную передачу с тщательно выполненной сшивкой вместо плоскоременной передачи;
- соблюдение соосности соединяемых вала электрического двигателя и вала вентилятора соединительными муфтами;
- снизить передачу вибрации от вентилятора по конструкциям зданий можно применением соединительных брезентовых или прорезиненных манжет между воздуховодами и вентилятором;
- всасывающие и выхлопные патрубки воздуховодов высокопроизводительных вентиляционных систем, выходящие наружу, должны оборудоваться глушителями;
- В процессе выполнения планово-предупредительного ремонта вентиляционной системы необходимо производить тщательную смазку

вращающихся частей вентилятора, замену износившихся деталей и потерявших упругость амортизаторов, проводить натяжку болтовых соединений и т. п. [3].

Уровень шума большинства электрических машин (ЭМ) лежит в пределах 65 - 90 дБ (А).

Как правило, наиболее экономичным и эффективным путем снижения уровней шума и вибрации является уменьшение их в источнике на стадии разработки и изготовления ЭМ. Снижение уровня шума в готовом изделии затруднительно, а иногда невозможно. Исключения составляют случаи, когда причиной повышенного шума являются аномальные режимы работы (например, отсутствие или загрязнение смазки подшипников, перегрузки, отклонения качества напряжения питания от номинального) или нарушение конструкции машины при эксплуатации (дефекты в подшипниках, коллекторах и щеточном аппарате, ослабление креплений отдельных частей машины, например подшипников, кожухов, а также расцентровка двигателя и механизма, разбалансировка). Устранение дефектов такого рода в готовом изделии может дать определенный эффект [4, 29, 65].

Вибрация, возникающая при работе насосов, вентиляторов вызывает колебания несущей конструкции, на которой они расположены. Собственно колебания этих машин, а также колебания сопряженных с ними конструкций являются причиной шума не только в насосных, но и в смежных помещениях.

Для уменьшения шума и вибраций насосы и вентиляторы с их электродвигателями необходимо ставить на амортизаторы, вес фундамента под эти машины должен быть в 3 – 5 раз больше веса двигателя и насоса (вентилятора), вместе взятых. Это способствует приближению центра тяжести к точкам опоры, обеспечивающим устойчивое равновесие. Кроме того, увеличение массивности системы препятствует ее раскачиванию возмущающими силами, которые возникают при работе агрегатов [3, 29]. Жесткое крепление этих агрегатов непосредственно к строительным конструкциям недопустимо.

Насосы должны быть тщательно отбалансированы. Как показывает опыт, статически отбалансированные роторы насосов снижают уровни шума на частоте

50 Гц на 25 дБ, 100 Гц - 27 дБ, 200Гц - 8дб, далее снижение уровней шума не наблюдается. Еще больший эффект достигается при динамической балансировке роторов [3, 4, 18, 29].

1.4 Выводы по главе 1

1. Дана общая характеристика предприятиям отдельной выработки тепла, входящим в энергетическую систему г. Казани. Показано, что на этих предприятиях конструкции зданий и сооружений, состав и основные характеристики вспомогательного энергетического оборудования в основном совпадают.

2. Установлено, что предприятия отдельной выработки тепла являются источниками шумового воздействия на прилегающие территории. Основные источники шума: дымососы, дутьевые вентиляторы, газораспределительные пункты, газопроводы, трансформаторы, компрессорные установки, водогрейные котлы, различные насосы. Уровень шума, излучаемый этим оборудованием, может достигать 80-110 дБА.

3. Из анализа научно-технической литературы установлено, что уровни шума и вибрации энергетического оборудования зависят от многих факторов, в том числе и от его технического состояния, но ввиду отсутствия данных по видам энергетического оборудования, применяемого в районных котельных, количественно оценить это влияние не представляется возможным. Применением существующих технических решений уровни шума и вибрации энергетического оборудования в условиях их эксплуатации можно снизить на 30 дБ.

5. Использование в цехах звукопоглощающих покрытий потолка, стен, шумозащитных перегородок позволяет уменьшить уровень шума до 15 дБА. Средства звукоизоляции эффективны для уменьшения проникающего шума через окна, дверные проемы, ворота.

6. Виброизоляция, как метод снижения структурного шума, используется для уменьшения вибрации дросселирующей арматуры, трубопроводов. Значительное

снижение вибрации достигается установкой в опорные соединения виброизолирующих прокладок, компенсаторов, подвесок. Установка агрегатов на рамы с вибродемпфированием позволяет снизить вибрацию до 20-30 дБ. Снижение вибрации машин с динамическими нагрузками (тягодутьевые агрегаты, насосы, электродвигатели) достигается организацией виброизолирующих фундаментов. Эффективность современных виброизоляторов достигает 98%.

7. Глушители эффективны для снижения аэродинамического шума: в газоздухопроводах, идущих к дутьевым вентиляторам, от дымососных вентиляторов, от газового редуктора и от котлов; воздухозаборов дутьевых вентиляторов; устройств вытяжки и нагнетания воздуха; устройств редуцирования газа. Современные глушители шума установок редуцирования давления газа и регуляторов давления позволяют снизить шум на 30 дБА.

8. Для снижения шума от корпусов энергетического оборудования применяются шумозащитные кожухи. Кожухи могут выполняться из листовой стали и дюралюминия, а также из высокопрочных технических тканей и теплоизоляционных материалов. Использование шумозащитных кожухов позволяет снизить уровень шума на 30 дБА.

9. Снижение шума на пути его распространения обеспечивается установкой акустических экранов, эффективность которых может достигать величин 30-35 дБА.

ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ РАЙОННЫХ КОТЕЛЬНЫХ НА ШУМОВОЕ ПОЛЕ

2.1 Экспериментальное определение акустических характеристик и параметров вибрации вспомогательного оборудования предприятий раздельной выработки тепла

2.1.1 Методика и инструментальное обеспечение проводимых измерений

Акустические измерения проводились в соответствии с [34, 38-40, 79, 97]. Места для установки акустических датчиков выбирались на производственных участках, на территории открытых площадок предприятия, а также на территориях жилых массивов, расположенных рядом с районными котельными. Кроме того, внутри помещений в зоне расположения предполагаемых источников шума одновременно с акустическим записывался и вибросигнал [30].

Согласно санитарным требованиям [97], мониторинг шума от объектов энергетики проводится на территориях, непосредственно прилегающих к жилым домам, а также на площадках отдыха на территории микрорайонов. В этом случае измерения проводятся не менее чем в трех точках на ближайшей к источнику шума границе площадок [27, 30].

Нормируемыми параметрами постоянного шума в расчетных (контрольных) точках являются уровни звукового давления (УЗД) L_p , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Для ориентировочных расчетов допускается использование уровней звука (УЗ) L_A , дБА. Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные (по энергии) уровни звука $L_{A_{ЭКВ}}$, дБА, максимальные уровни звука $L_{A_{МАКС}}$, дБА [97] и эквивалентные уровни звукового давления $L_{p_{ЭКВ}}$, дБ, в октавных полосах частот [101].

Измерения указанных величин проводят в дневное и вечернее время с 07.00 до 23.00 и ночью с 23.00 до 7.00 ч. Измерения проводятся в один из рабочих дней при неизменных режимах работы энергетического предприятия в течение недели и в один из выходных дней в случае функционирования предприятия в выходные дни. При первичных наблюдениях измерения проводятся непрерывно в течение суток. При дискретных наблюдениях продолжительность измерения шума устанавливается в соответствии с рекомендациями [39]. Процесс измерения в этом случае проводится до стабилизации показаний прибора в пределах выбранной точности измерений [44].

Нормируемыми показателями шума на рабочих местах являются: эквивалентный уровень звука A за рабочую смену - 80 дБА, максимальные уровни звука A , измеренные с временными коррекциями S (медленно, $\phi = 1$ с) - 110 дБА и I (импульс, $\phi = 40$ мс) - 125 дБА, пиковый уровень звука C - 137 дБС.

Превышение любого нормируемого параметра считается превышением ПДУ.

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1 000; 2 000; 4 000; 8 000 Гц не являются нормируемыми параметрами; рассматриваются как справочные параметры, которые могут использоваться для подбора средств защиты и разработки мер профилактики [91].

Шумовыми характеристиками технологического и инженерного оборудования, создающего постоянный шум, являются уровни звуковой мощности (УЗМ) L_w , дБ, в восьми октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63-8000 Гц, а оборудования, создающего непостоянный шум, эквивалентные уровни звуковой мощности $L_{w_{\text{экв}}}$ и максимальные уровни звуковой мощности $L_{w_{\text{макс}}}$ в восьми октавных полосах частот.

Шумовыми характеристиками источников внешнего шума для энергетических предприятий с максимальным линейным размером в плане до 300 м включительно, являются эквивалентные уровни звуковой мощности $L_{w_{\text{экв}}}$ и максимальные уровни звуковой мощности $L_{w_{\text{макс}}}$ в восьми октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63-8000 Гц и фактор направленности

излучения в направлении расчетной точки Φ ($\Phi = 1$, если фактор направленности неизвестен) [27, 101].

Регистрация сигналов проводилась измерительным комплексом «Экофизика» 110А (рис.2.1).



Рисунок 2.1 - Измерительный комплекс «Экофизика» 110А [30]

Шумомер-виброметр, анализатор спектра «Экофизика» 110А предназначен для измерения среднеквадратичных, эквивалентных и пиковых уровней звука, скорректированных уровней виброускорения, октавных, 1/3-октавных, 1/12-октавных и узкополосных спектров, для анализа сигналов различных первичных преобразователей для регистрации временных форм сигналов с целью оценки влияния звука, инфра- и ультразвука, вибрации и иных динамических физических процессов на человека на производстве, в жилых и общественных зданиях, определения виброакустических характеристик механизмов и машин, а также для научных исследований. Погрешность измерения виброускорения составляет $\pm 0,3$ дБ, погрешность измерения уровней звукового давления составляет $\pm 0,5$ дБ [133].

Уровни звука, дБА, уровни звукового давления, дБ, измерялись в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц и третьоктавных полосах с диапазоном среднегеометрических частот 25-10000 Гц.

При проведении любых измерений важным моментом является их погрешность. Погрешность виброакустических измерений определяется как сумма случайных и систематических погрешностей [120]. Для оценки точности результата измерения служит его среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (L_i - L_{cp})^2}{m-1}}, \quad (2.1)$$

Где σ - среднеквадратичное отклонение, L_i – значение логарифмической величины, полученное при i -ом измерении, L_{cp} – среднее значение логарифмической величины звукового давления, которое определяется по формуле [120]

$$L_{cp} = 10 \lg \left(\frac{\sum_{i=1}^m 10^{0.1L_i}}{m} \right), \quad (2.2)$$

Логарифмической величиной могут быть уровень звукового давления и уровень виброскорости или уровень виброускорения [120].

Значение суммарной погрешности измерения логарифмической величины складывается из частей:

- σ_1 - погрешность измерений логарифмической величины в одной точке (повторение результатов);
- σ_2 – погрешность измерений логарифмической величины по всем точкам (разброс результатов);
- σ_3 – систематическая ошибка, определяемая точностью измерительной аппаратуры.

Суммарная погрешность равна [120]

$$\sigma_c = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \sigma_i^2}. \quad (2.3)$$

За окончательный результат измерения принимается среднелогарифмическое значение L_{cp} . Для оценки результата указываются границы выбранной доверительной вероятности.

Действительное значение измеренной логарифмической величины будет равно

$$L = L_{cp} + \varepsilon \sigma_c, \quad (2.4)$$

где $\varepsilon = \frac{t_p}{\sqrt{n}}$ – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности и количества измерений и характеризующий доверительный интервал [120].

Для проведенных в диссертационной работе измерений при доверительной вероятности $\alpha=0,95$, погрешность результата измерения уровня звука равна $\pm 1,3$ дБ.

2.1.2 Экспериментальные исследования виброакустических характеристик вспомогательного оборудования районных котельных и анализ результатов

Измерения параметров шума вспомогательного оборудования котельных «Савиново», «Азино» и «Горки» проводились на всех производственных участках и на открытых территориях предприятий. Были выявлены основные источники шума, параметры которых приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Результаты акустических измерений в ближнем акустическом поле в октавных полосах среднегеометрических частот [29, 30]

Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Оборудование РК «Савиново»										
Сетевой насос (СН-2) СЭ-2500-180	80	97	84	92	91	94	92	85	77	97
Сетевой насос (СН-4) СЭ-2500-180	82	96	87	95	92	92	89	84	81	96
Электропривод СН-2 4АЗМ-1600/6000 УХЛ4	81	96	88	92	92	92	90	83	76	96
Электропривод СН-4 4АЗМ-1600/6000 УХЛ4	78	95	85	92	90	91	87	81	75	95
Регулятор давления (ГР-2) РДУК2В-200-140	76	74	79	84	96	100	101	102	94	107
Дымосос ДС-1 ДН24х2-0,62ГМ	92	89	90	92	82	80	77	70	60	86
Дымосос ДС-2 ДН24х2-0,62ГМ	97	90	103	90	78	80	77	71	60	89
Дутьевой вентилятор ДВ-1 ВДН-26-11-У(корпус)	92	95	88	84	81	81	79	76	70	87
Дутьевой вентилятор ДВ-1 ВДН-26-11-У(система всасывания)	85	80	73	70	76	76	75	71	57	81
Дымосос рециркуляции ДРГ-1	87	86	87	88	79	79	76	67	58	85

Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ВГДН-17										
Дымосос рециркуляции ДРГ-2 ВГДН-17	89	86	85	83	78	81	77	70	58	84
Газовые горелки котла КВГМ-180	89	88	83	81	79	80	81	82	76	86
Котел КВГМ-180 (7,5 м от пола)	76	87	81	76	74	75	76	72	63	80
Насос рециркуляции	85	83	92	84	84	84	89	86	80	93
Наружная газовая труба в районе входа в здание котельного цеха	71	62	57	58	76	77	75	67	49	81
Оборудование РК «Горки»										
Сетевой насос (СН-1) КРВ6015-1/2	70	75	74	80	80	76	73	74	69	86
Электродвигатель насоса СН-1	71	82	77	81	78	76	74	77	69	88
Сетевой насос (СН-5) СЭ-800-100	81	82	77	75	73	80	72	75	62	86
Электродвигатель насоса СН-5	82	82	78	76	73	85	72	73	65	88
Дутьевой вентилятор ВЦ-14-46№4 (корпус)	90	93	84	82	79	79	73	71	61	88
Двигатель дутьевого вентилятора	94	94	89	82	80	80	74	73	62	89
Газорегуляторная установка (ГРУ) (5м)	80	73	70	68	70	76	75	77	64	87
Оборудование РК «Азино»										
Сетевой насос (СН-1) СЭ-2500-180	78	91	80	84	83	87	84	78	71	90
Электропривод СН-1 4АЗМ-1600/6000 УХЛ4	78	92	82	86	86	83	80	71	65	88
Дутьевой вентилятор Ц-13-50 (корпус)	89	94	84	79	74	74	78	71	61	85
Дымосос (ДС-1) Д20×2	92	90	86	88	80	78	74	69	57	84
Газораспределительный пункт	73	74	77	84	97	99	99	100	95	105

Из таблицы видно, что все энергетические агрегаты излучают шум высокой интенсивности. Для принятия специальных мер по снижению шума этих агрегатов необходимо выявить природу образования шума [29, 30].

Анализ технического состояния эксплуатируемого оборудования показывает, что частыми причинами повреждений оборудования являются: недостатки в организации эксплуатации и технического обслуживания, ремонтных и диагностических работ, входного контроля вновь устанавливаемых узлов [90], а также ослабление работы производственных служб предприятий энергетики. В конечном итоге, это негативно сказывается не только на производственном цикле,

но и на качестве окружающей среды, в частности на повышении шумового загрязнения от предприятий. На электростанциях, котельных медленно внедряются научно-технические разработки, направленные на повышение надежности и экономичности энергоустановок. На модернизацию основного и вспомогательного оборудования не выделяется достаточных средств [90]. Это приводит к дальнейшему износу оборудования, повышению вибрации оборудования и снижению надёжности работы предприятий энергетики [69, 90, 109].

Вибрация и шум – естественные процессы, протекающие в машинах и оборудовании, и возбуждаются они теми же динамическими силами, которые являются причинами износа и разных видов дефектов. Эффективная диагностика машин возможна, в основном, по вибрации, так как колебательные силы возникают непосредственно в месте появления дефекта, а машина «прозрачна» для вибрации. Вибрация содержит максимальный объем диагностической информации и диагностировать можно на месте, без разборки и остановки оборудования [12, 13, 15, 66, 68, 99].

Изменение шумовых характеристик в процессе эксплуатации оборудования оценивается путем сравнения его акустической мощности, указанной в паспорте и рассчитанной при эксплуатации. При этом определить акустическую мощность работающего энергетического оборудования крайне сложно, а у некоторых агрегатов - практически невозможно. Поэтому такой метод оценки изменения акустических характеристик используемого энергетического оборудования не перспективен. В работе предлагается другой метод решения этой задачи. Суть решения заключается в одновременном измерении и гармоническом анализе вибрационного и акустического сигналов. Акустический сигнал записывается в ближнем акустическом поле. Нарушение условий монтажа или дисбаланс вращающихся элементов конструкции, расцентровка или перекос валов даже в небольших отклонениях от допустимых норм будет приводить к появлению вибрации оборудования на определённых частотах и, как следствие, к формированию структурного шума на доминирующей частоте, равной частоте вибрации. Что будет проявляться и на частотных спектрах акустического сигнала.

При проведении записи сигналов, если появляются в спектре акустического сигнала уровни звукового давления на других частотах (не характерных данному оборудованию), необходимо изменить местоположение микрофона в исследуемом поле. Запись сигналов проводится в том месте, где доминирующим уровнями звукового давления являются пульсации давления на исследуемых частотах. Далее, путем визуального осмотра и использования специальных приборов (виброметра, балансировочного прибора ЦБ-3) определяются причины нарушения технического состояния отдельных узлов и элементов оборудования, вызывающих вибрацию и повышенный шум.

На рисунке 2.2 приведены спектры вибро- и акустического сигналов, записанных в один и тот же момент времени применительно к электродвигателям сетевого насоса СЭ-2500-180 (СН-2) [30], установленных в цехе сетевой воды в РК «Савиново».

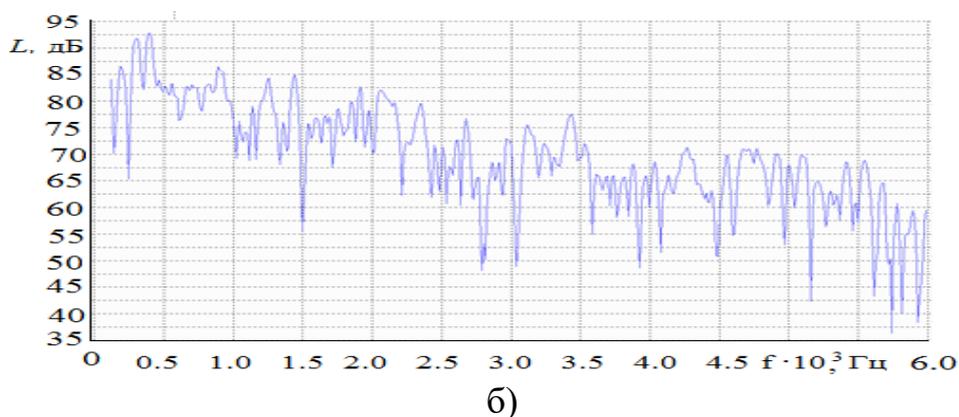
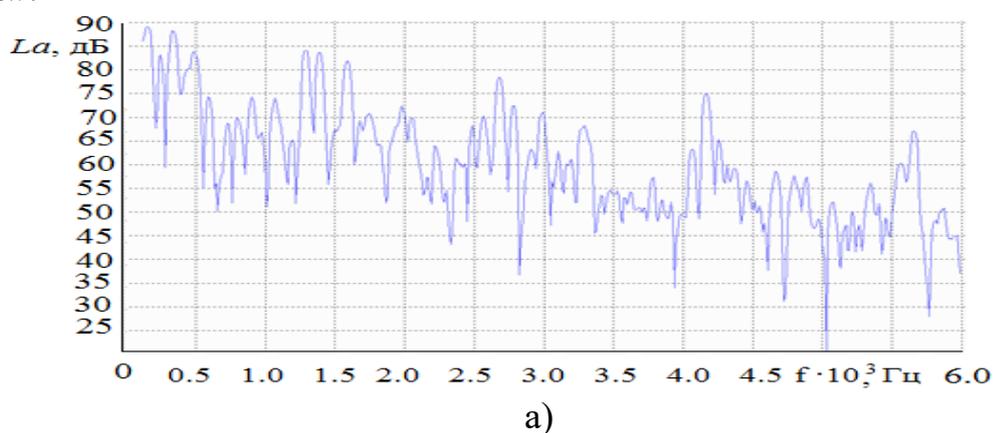
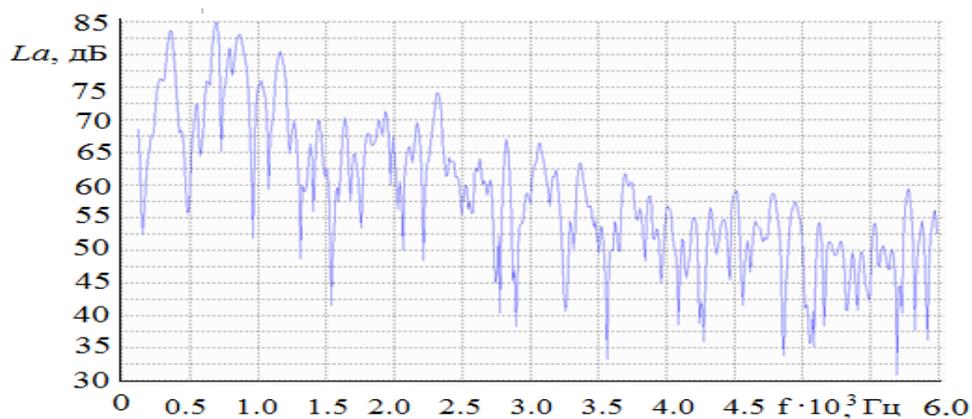
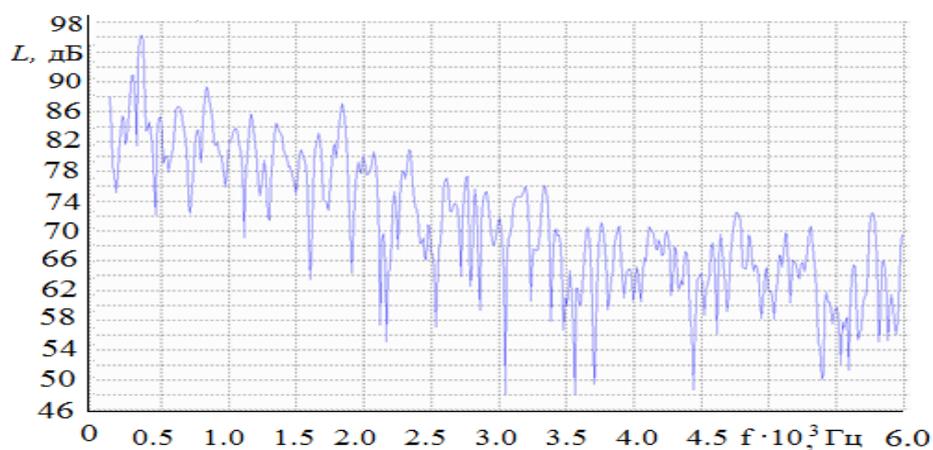


Рисунок 2.2 - Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов электродвигателя 4АЗМ-1600/6000 УХЛ4 сетевого насоса СЭ-2500-180 [30]

Из анализа частотных спектров (рис. 2.2 б) видно, что наибольшие значения уровня звукового давления наблюдаются в области низких частот и средних частот (50Гц, 100Гц, 150 Гц, 300 Гц, 400 Гц) и в диапазонах высоких частот (1250-1500Гц, 2000-2200Гц, 4200-4300Гц). Причиной их возникновения является работа электродвигателя, служащего приводом для водяного насоса. Вибрационные колебания, возникающие в электродвигателе, передаются водяному насосу (рис. 2.3а) [30].



а)



б)

Рисунок 2.3 - Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов сетевого насоса СЭ-2500-180 [30]

Это хорошо видно из сравнительного анализа спектров, полученных от акустического и вибрационных сигналов. На спектральной характеристике вибросигнала насоса в области низких частот можно заметить «энергонесущие частоты», которые наблюдаются также в спектре вибросигнала электродвигателя.

Это можно объяснить тем, что водяной насос и электродвигатель между собой связаны кинематической (жесткой) связью и вибрации легко передаются от одного агрегата к другому. Далее, из-за колебаний корпуса насоса появляется структурный шум, который распространяется в окружающем пространстве [30].

Цех сетевой воды не оборудован вибро- и шумоизоляцией. Сетевые насосы и двигатели смонтированы на бетонное основание без вибродемпфирующих подложек (рис.2.4, 2.5) [29, 30].



Рисунок 2.4 - Сетевой насос СЭ-2500-180 с электроприводом 4А3М-1600/6000 УХЛ4 (РК «Савиново»)



Рисунок 2.5 - Цех сетевой воды РК «Савиново»

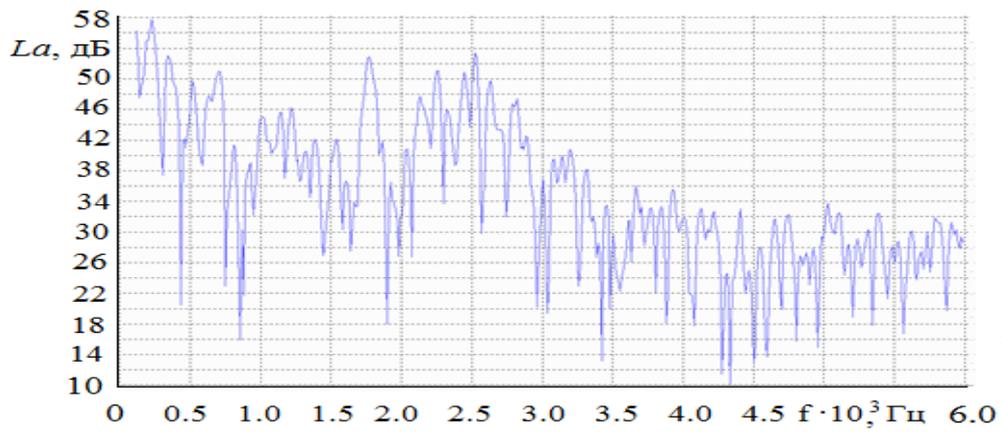
Вибрации от корпуса насоса передаются также стенам корпуса. Причиной

этому является прямое соприкосновение трубопроводов со стеной в местах их прохождения через стену (рис.2.5, 2.6). По существующей технологии в этих местах должны быть виброизолирующие вставки.

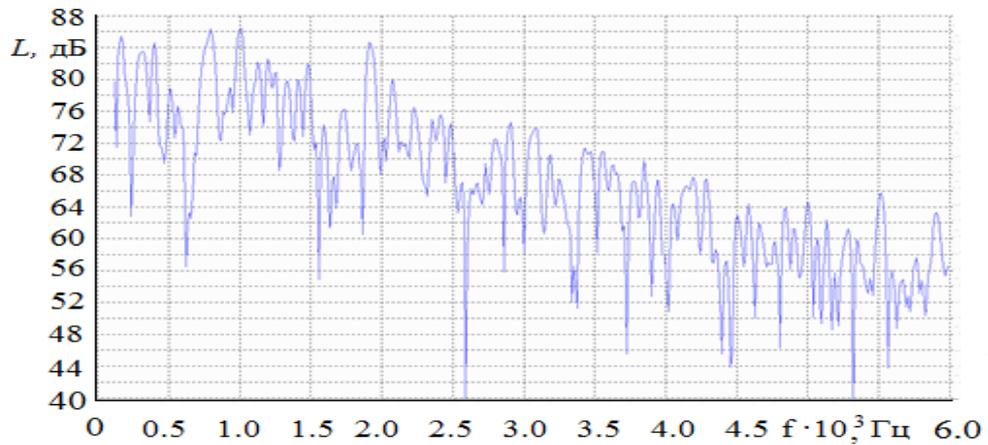


Рисунок 2.6 - Цех сетевой воды РК «Савиново»

Все это приводит к тому, что вибрации от работающего оборудования передаются несущим конструкциям. И далее элементы корпуса здания (стены, стекла на окнах, крыша и т.д.) начинают вибрировать, становясь дополнительным источником структурного шума. Это отчетливо прослеживается на спектрах, приведенных на рисунке 2.7 [30].



а)



б)

Рисунок 2.7 - Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов (вибродатчик установлен на стене цеха сетевой воды РК «Савиново») [30]

Спектры получены из вибросигналов, записанных вибродатчиками непосредственно установленными на стене цеха. Поскольку, энергонесущие частоты по своему значению на вышеуказанных спектрах близки друг к другу, то с большой вероятностью можно предположить о стенах помещения - как дополнительном источнике генерации шума [22, 30].

Повышение вибрации оборудования и уровня шума из-за нарушений условий монтажа, дисбаланса вращающихся элементов, появления дисбаланса вращающихся элементов по причине износа кинематических звеньев выявлены и в РК «Горки».

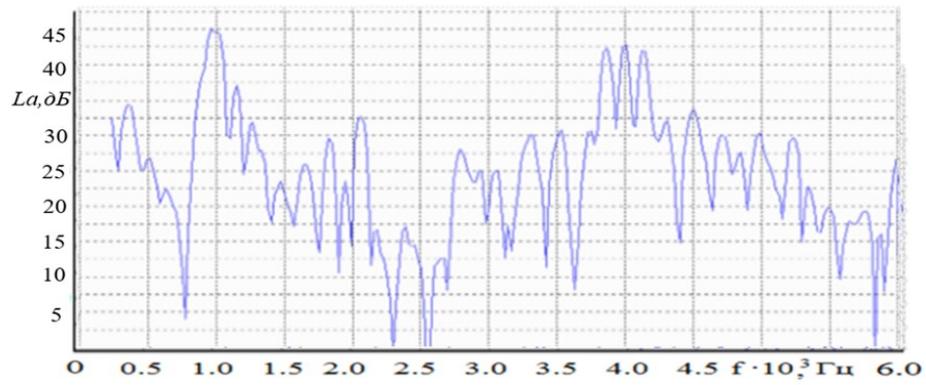
Сетевые насосы и двигатели также смонтированы на бетонное основание без вибродемпфирующих опор (рис.2.8), в точках опоры водопроводов с несущими конструкциями здания отсутствуют виброизолирующие прокладки (рис. 2.9).



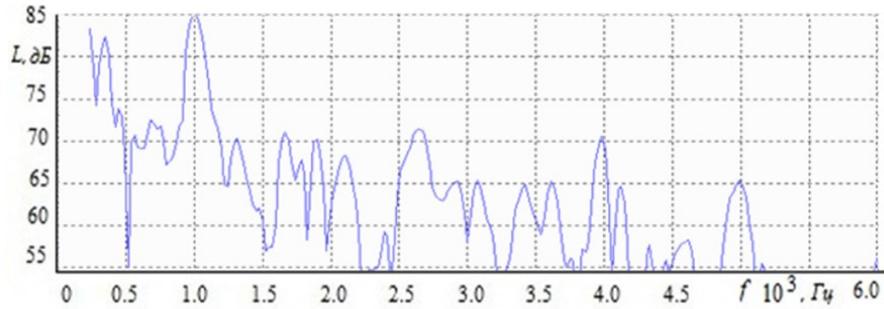
Рисунок 2.8 – Оборудование РК «Горки»



Рисунок 2.9 – Оборудование РК «Горки»

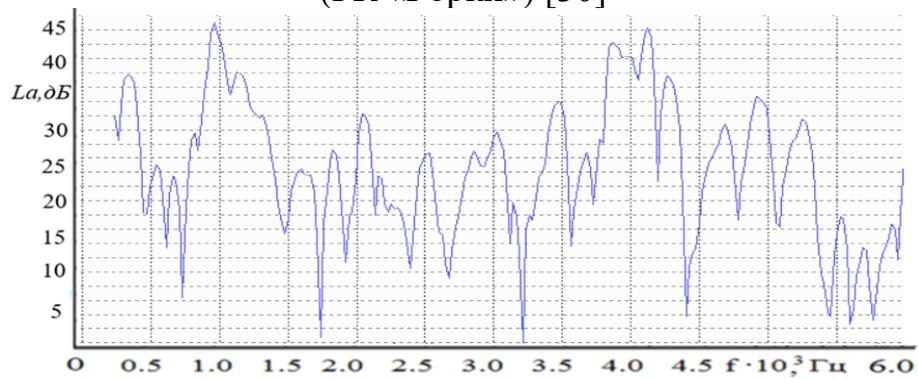


а)

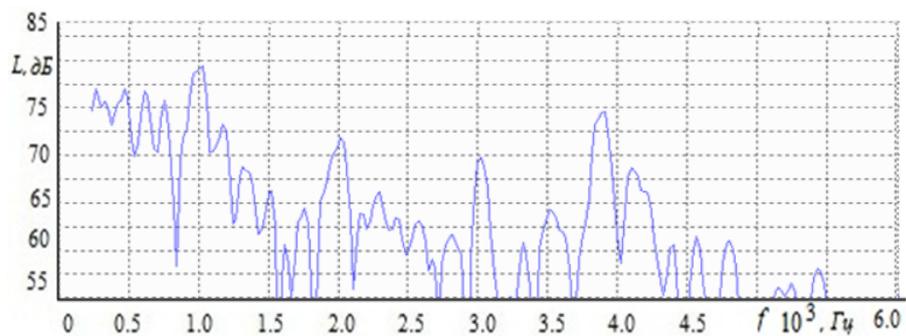


б)

Рисунок 2.10 – Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов электродвигателя (315 кВт, 1450 об/мин) сетевого насоса СЭ-800-100 (РК «Горки») [30]

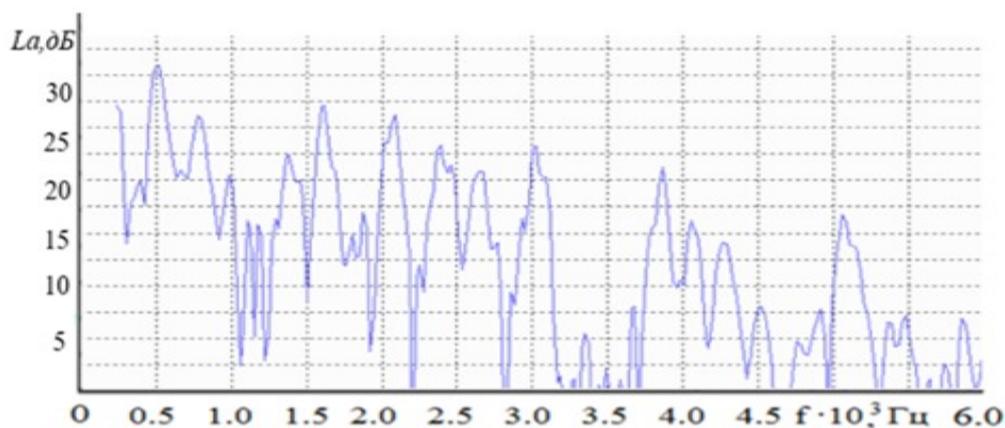


а)

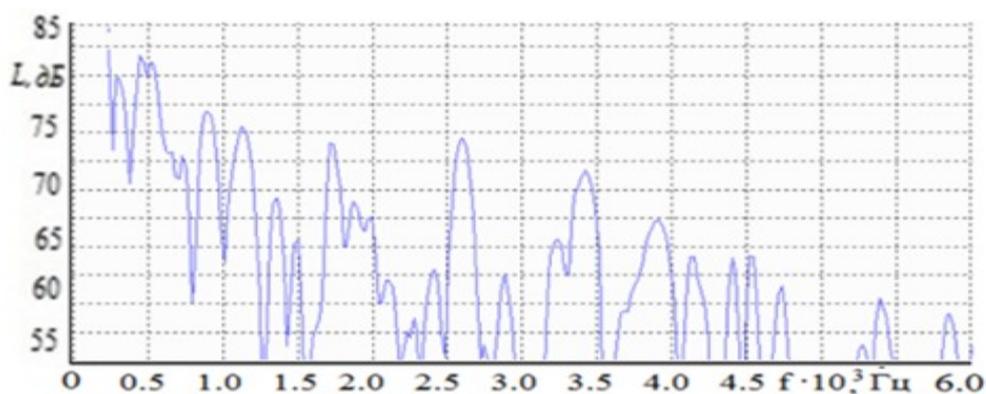


б)

Рисунок 2.11 – Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов сетевого насоса СЭ-800-100 (РК «Горки») [30]



а)



б)

Рисунок 2.12 – Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов (вибродатчик установлен на стене РК «Горки») [30]

Наибольшие значения уровня звукового давления на амплитудно-частотном спектре двигателя СЭ-800-100 (рис.2.10 б) наблюдаются в области низких и средних частот (350-400Гц, 600-750 Гц) и на высоких частотах (1000Гц, 1250 Гц, 1600-1750 Гц, 2600 Гц, 3500 Гц, 4000 Гц). Вибрационные колебания, возникающие в электродвигателе, через кинематическую связь передаются водяному насосу. Это подтверждается экспериментальными результатами. На спектральной характеристике вибросигнала насоса СЭ-800-100 (рис.2.11 а) присутствуют «энергонесущие частоты» в области низких частот и в области высоких частот 1000-1100 Гц, 1600-1750 Гц, 2500Гц, 3000 Гц, 3500 Гц, 4600 Гц, которые наблюдались и в спектре вибросигнала электродвигателя [30]. Колебания корпуса насоса генерируют структурный шум, который распространяется в окружающем пространстве. Вибрации от корпуса насоса из-за отсутствия виброизоляции также

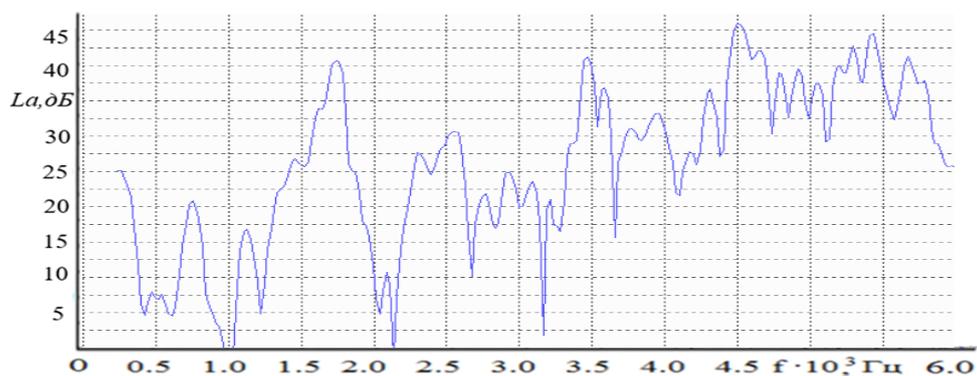
передаются по трубопроводу несущим конструкциям здания котельной (рис.2.12 а). На спектрах вибросигнала, полученного с датчика вибрации, закрепленного на стене, видны частоты характерные для насоса сетевой воды.

Снизить структурный шум путем ослабления передачи вибраций от одного узла к другому можно соблюдением условий монтажа. Для примера, ниже приведены результаты экспериментального исследования вибрационных характеристик водяного насоса КРВ6015-1/2. Трубопровод насоса с обеих сторон оборудован компенсаторами, насос и двигатель установлены на общей раме и на общем массивном фундаменте (рис.2.13).

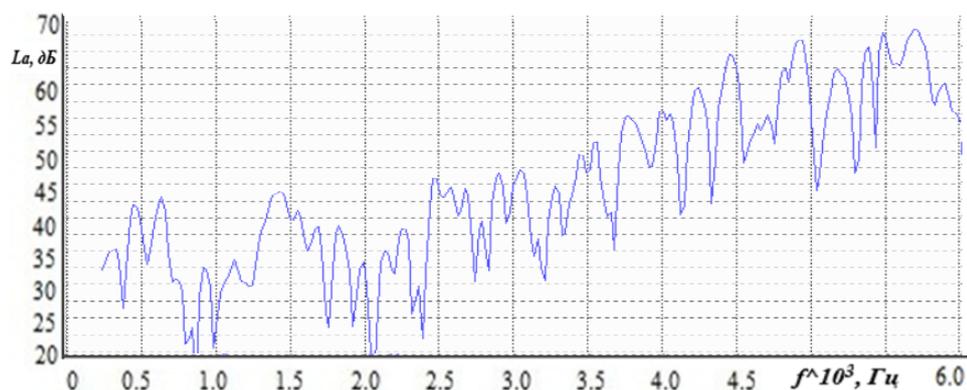


Рисунок 2.13 - Водяной насос КРВ6015-1/2 с электроприводом 500 кВт РК «Горки», А - компенсатор

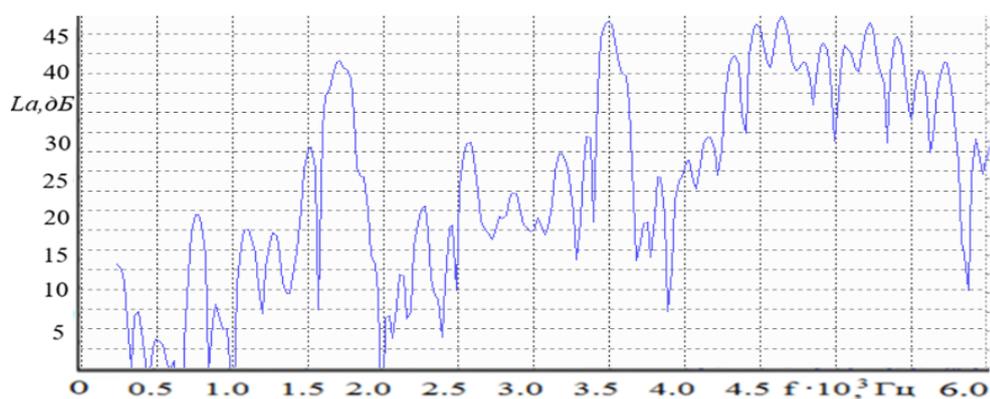
Спектры вибросигналов в кинематической схеме электродвигатель-насос-трубопровод после компенсатора (А) (рис.2.13) представлены на рисунке 2.14 а, б, в.



а)



б)



в)

Рисунок 2.14 – Спектры вибросигналов а) электродвигатель, б) сетевой насос КРВ6015-1/2, в) трубопровод

Из сравнительного анализа спектров вибросигналов, записанных на насосе СЭ-800-100 (рис. 2.11 а) и насосе КРВ6015-1/2 (рис. 2.14 б) видно, что при правильном монтаже уровень вибрации снижается. Анализ этих спектров также позволяет оценить эффективность использования компенсаторов для снижения передачи вибрации от водяного насоса. На рисунке 2.14-в видно, что в области

низких частот уровни вибрации трубопровода значительно снижены, хотя он находится в кинематической связи с насосом.

В котельной «Азино» установлены сетевые насосы СЭ-2500-180, как и в котельной «Савиново».



Рисунок 2.15 – Сетевой насос СЭ-2500-180-10 и электродвигатель, РК «Азино»

Отмечено, что уровни звукового давления (табл. 2.1) по всем октавным полосам среднегеометрических частот водяного насоса и электродвигателя РК «Азино» ниже, чем у такого же оборудования РК «Савиново».

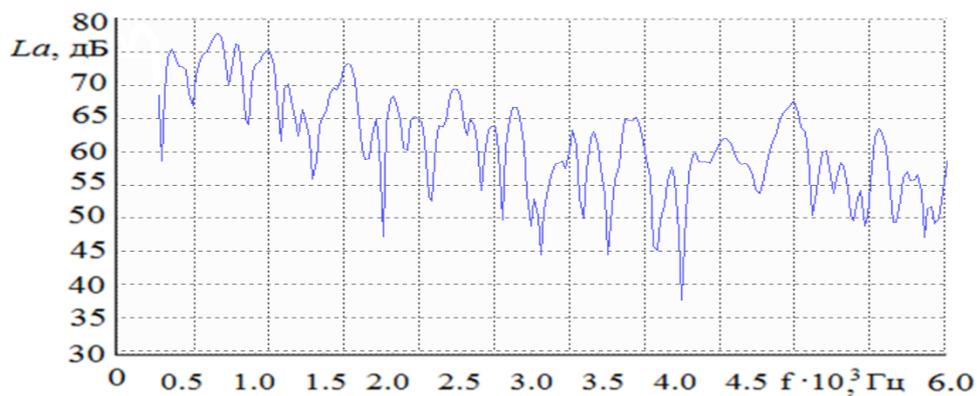


Рисунок 2.16 – Спектр вибрационного сигнала
сетевого насоса СЭ-2500-180-10 РК «Азино»

На рисунках 2.17 и 2.18 показано внутреннее пространство газораспределительных пунктов РК «Савиново» и РК «Азино».



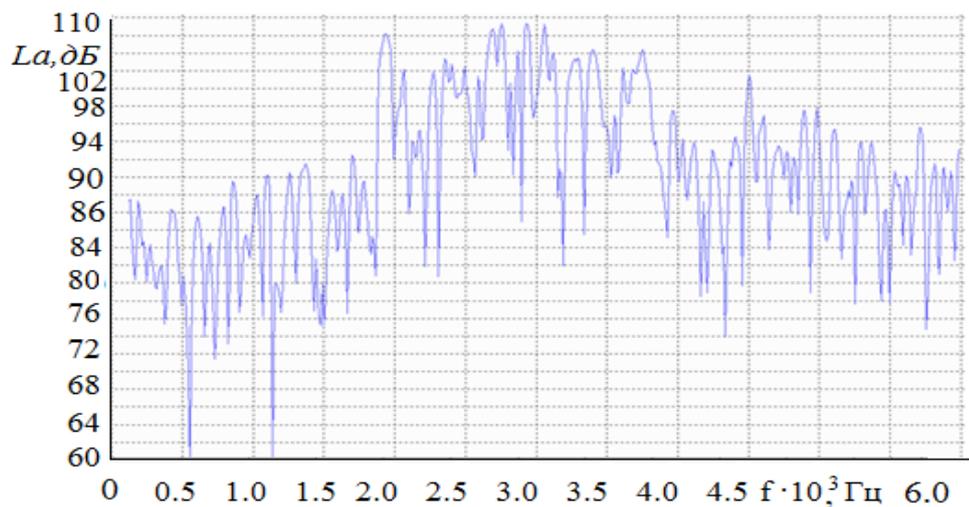
Рисунок 2.17- Газораспределительный пункт РК «Савиново»



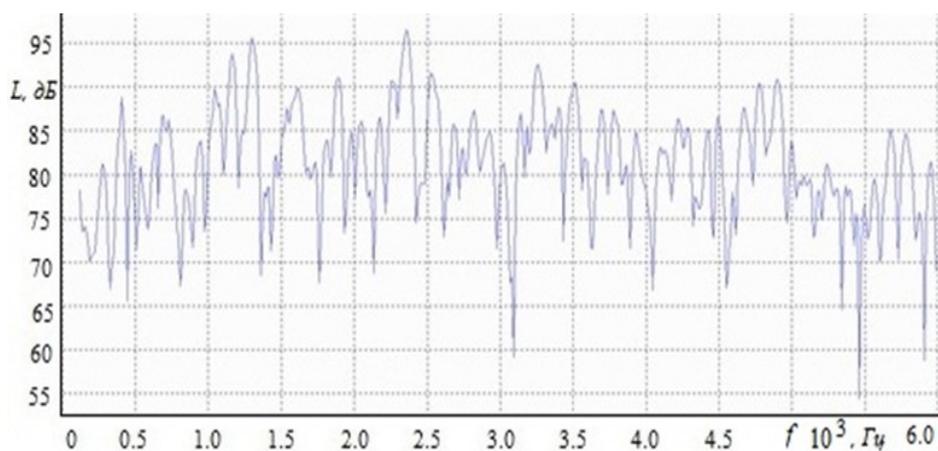
Рисунок 2.18- Газораспределительный пункт РК «Азино»

Опытами установлено, что регуляторы газового давления РДУК2В-200-140, а также газопровод являются источниками высокочастотного шума.

Максимальные амплитуды уровней звукового давления, создаваемого редуктором для октавных полос 1000 Гц, 2000 и 4000 Гц составляют 100-102 дБ [30]. На рисунке 2.19 приведены спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов редуктора РДУК2В-200-140 [25, 30].



а)



б)

Рисунок 2.19 - Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов редуктора РДУК2В-200-140 (РК «Савиново»)

Тягодутьевые машины обеспечивают принудительную тягу на водогрейных котлах. Тягодутьевые механизмы каждого котла КВГМ-180 (РК «Савиново») включают в себя центробежный дутьевой вентилятор ВДН-26-11-У одностороннего всасывания правого вращения (рис.2.20), дымосос ДН24х0,62ГМ двустороннего всасывания (рис.2.21) и дымосос рециркуляции ВГДН-17 одностороннего всасывания левого вращения (рис.2.22) [30].



Рисунок 2.20 - Дутьевой вентилятор ВДН-26-11-У



Рисунок 2.21 - Дымосос ДН24х0,62ГМ



Рисунок 2.22 - Дымосос рециркуляции ВГДН-17

Тягодутьевые машины котла ПТВМ-180 (РК «Азино») представлены 20 дутьевыми вентиляторами Ц-13-50 (рис. 2.23) и двумя дымососами Д20×2 (рис. 2.24).



Рисунок 2.23 - Дутьевые вентиляторы Ц-13-50



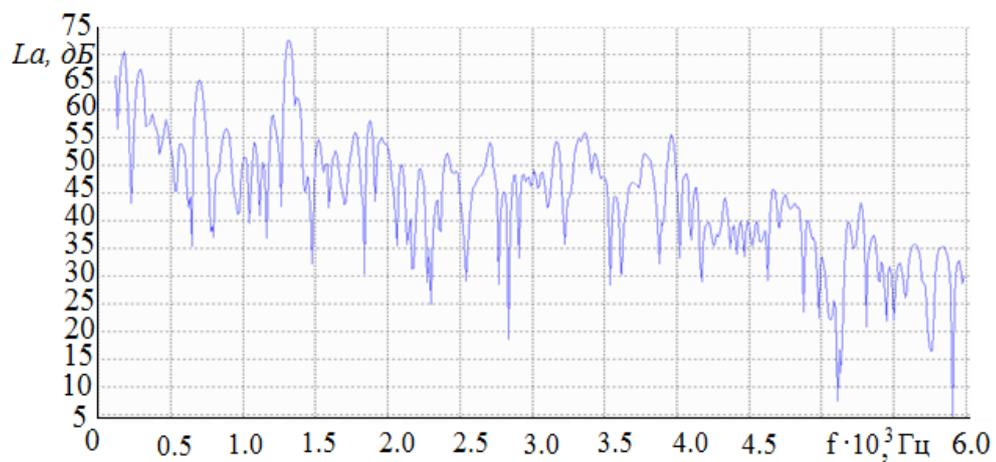
Рисунок 2.24 - Дымосос Д20×2

Котёл водогрейный ПТВМ-50 (РК «Горки») оборудован двенадцатью горелками, каждая из которых снабжена индивидуальным дутьевым вентилятором ВЦ-14-46№4 (рис. 2.25).



Рисунок 2.25 - Дутьевые вентиляторы ВЦ-14-46№4

Для тягодутьевых машин характерна генерация шума в низкочастотной области с максимумами амплитуд в спектре шума на «лопаточной частоте» [30] и в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 1000Гц и 2000 Гц. Это установлено на основе анализа спектров сигналов, приведенных на рисунке 2.26.



а)

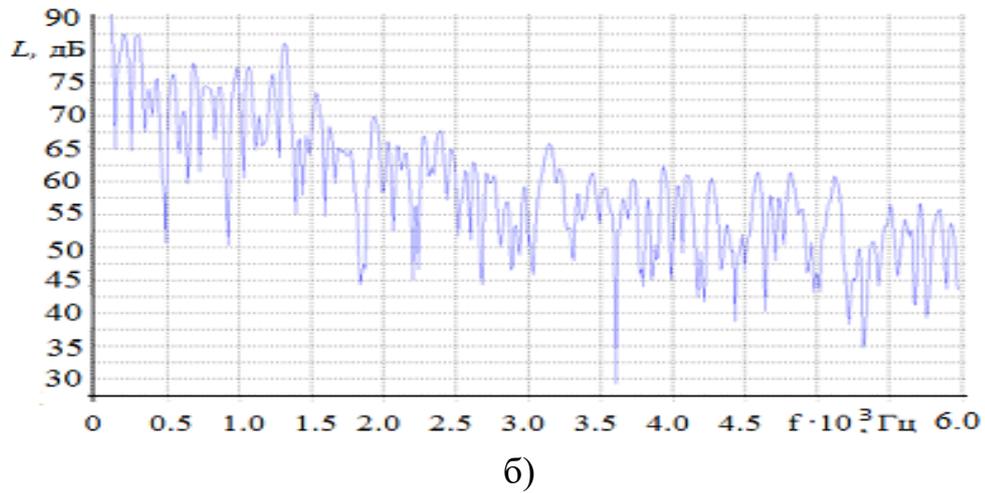


Рисунок 2.26 - Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов двигателя дымососного агрегата ДН24х0,62ГМ (ДС-1)

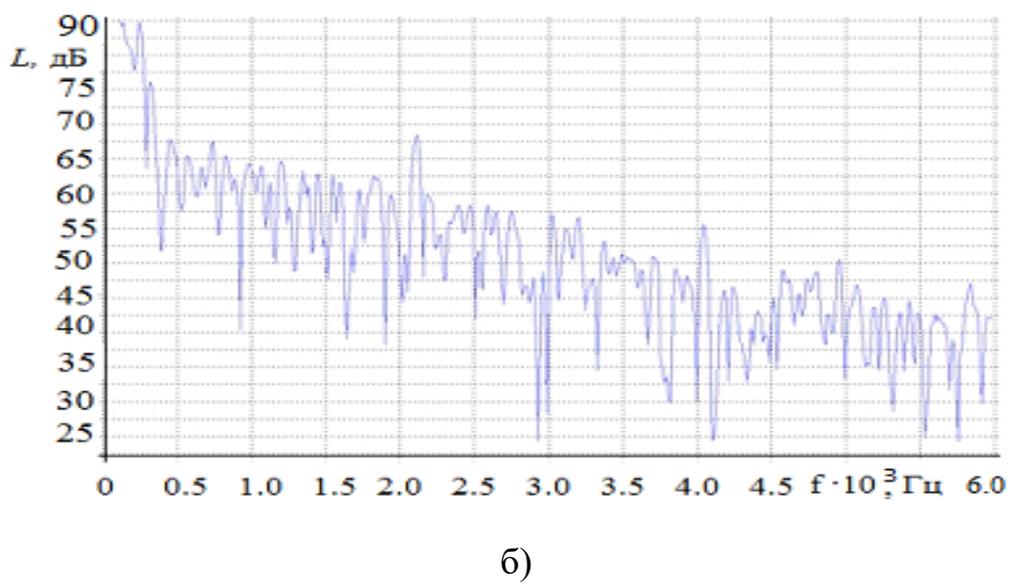
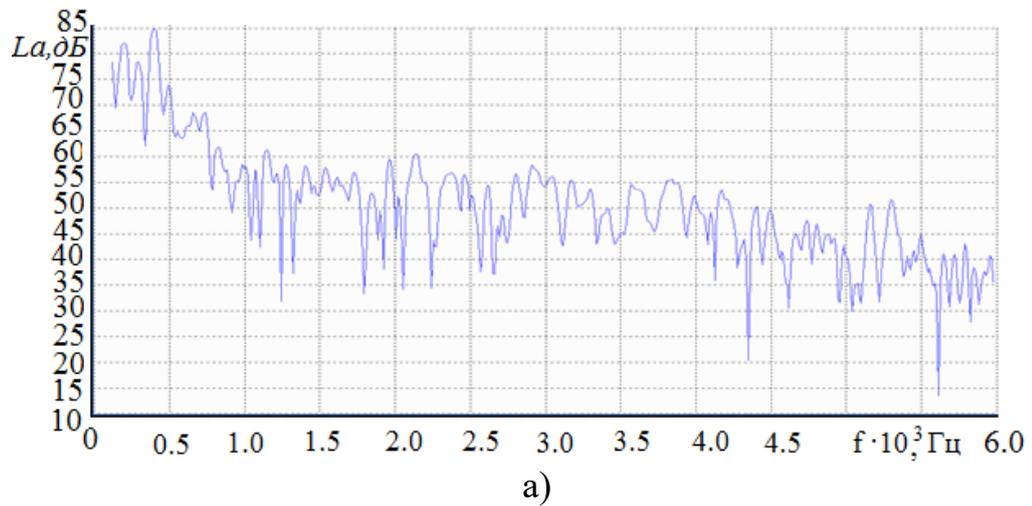


Рисунок 2.27 – Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов дымососа ДН24х0,62ГМ (ДС-1)

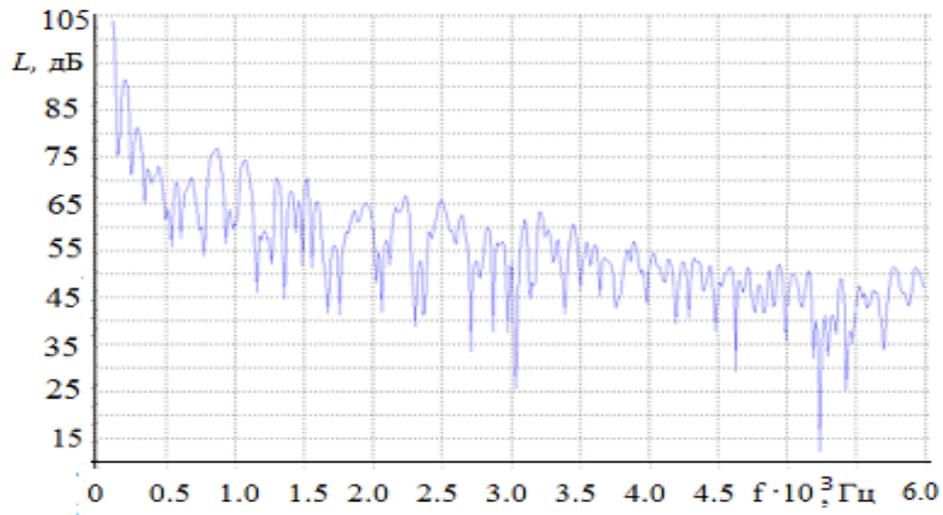


Рисунок 2.28 – Спектр акустического сигнала, записанного в ближнем акустическом поле дымососа ДН24х0,62ГМ (ДС-2) [30]

Спектры показывают, что для обоих дымососных агрегатов (рис. 2.27, 2.28) характерна генерация шума в низкочастотной области и в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 1000Гц и 2000 Гц.

Ниже приведены спектры акустических сигналов в ближнем акустическом поле дымососов рециркуляции (рис. 2.29, 2.30).

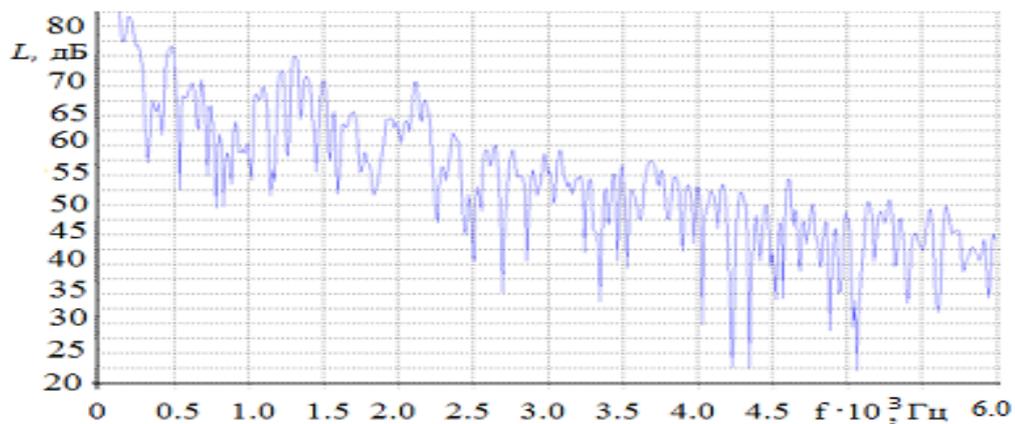


Рисунок 2.29 – Спектр акустического сигнала, записанного в ближнем акустическом поле дымососа рециркуляции ВГДН-17 (ДРГ-1) [30]

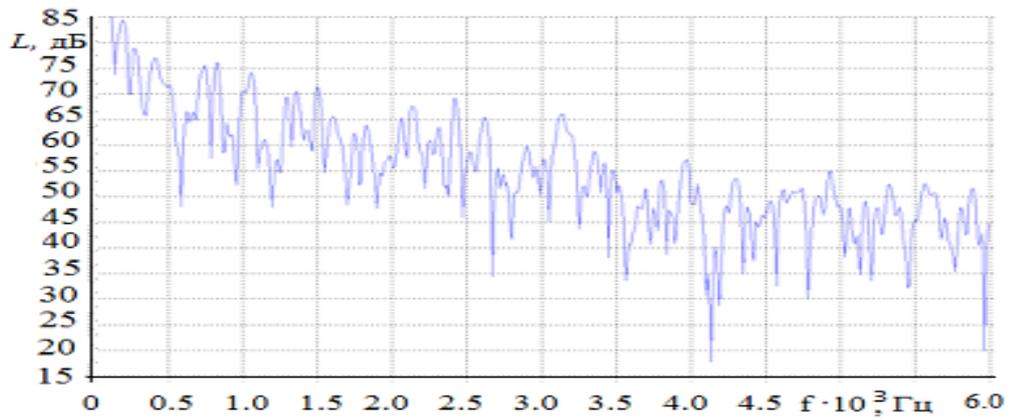
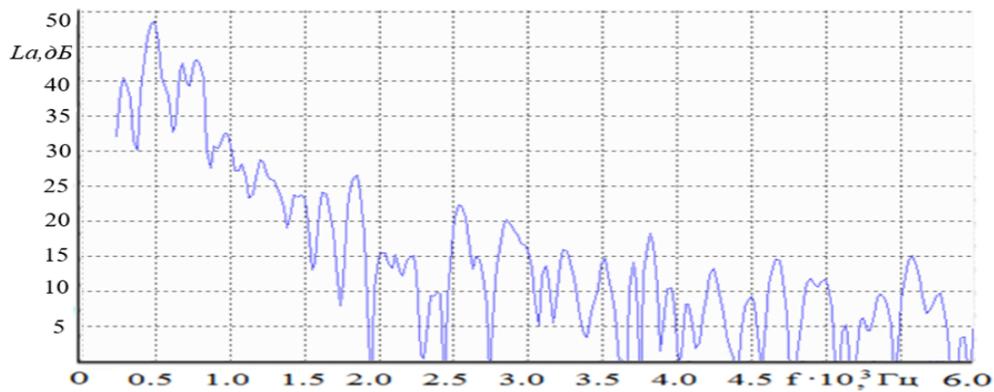
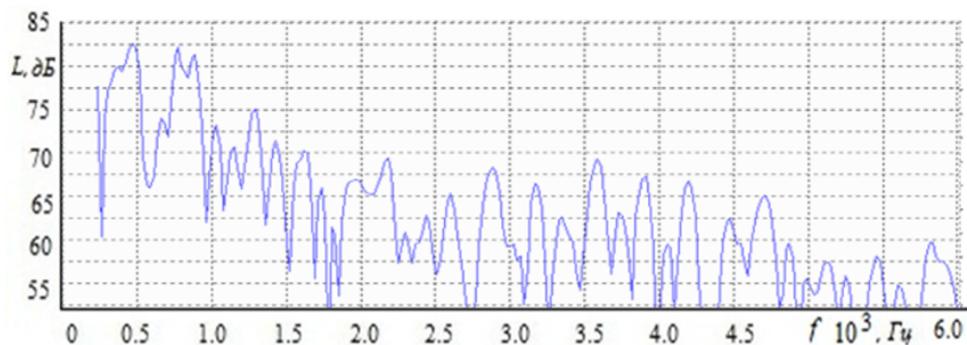


Рисунок 2.30 – Спектр акустического сигнала, записанного в ближнем акустическом поле дымососа рециркуляции ВГДН-17 (ДРГ-2)

На рисунке 2.31 приведены спектры вибрационного и акустического сигнала тягодутьевого оборудования котельной «Горки».



а)



б)

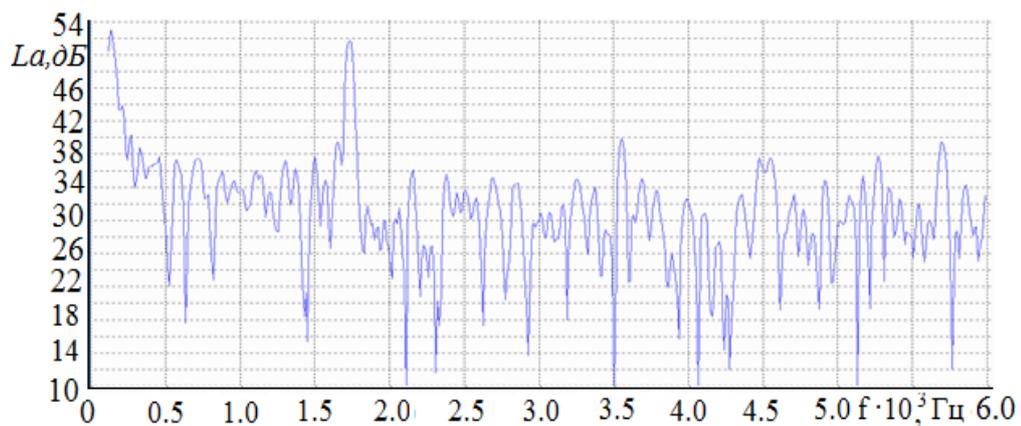
Рисунок 2.31 – Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов дутьевого вентилятора ВЦ-14-46№4(корпус)

Отмечается генерирование шума высоких амплитуд достаточно в широком диапазоне частот. Отсутствие шумопоглощающих покрытий стен, стекол в ряде

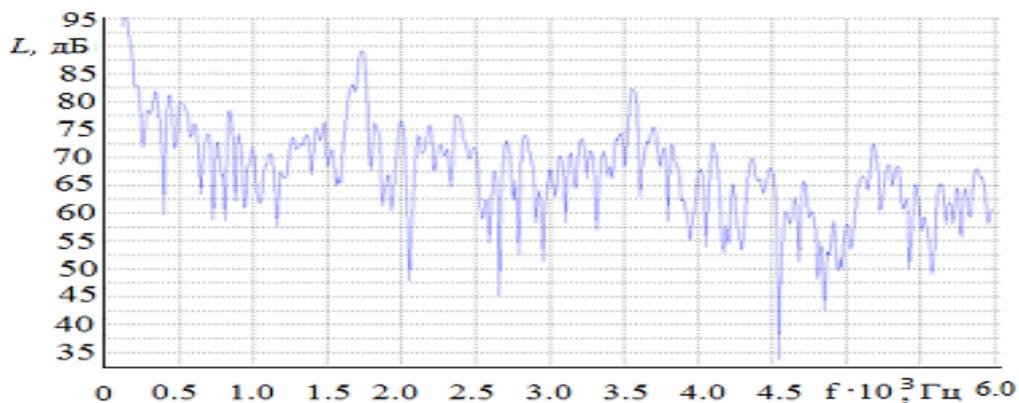
окон объектов, расположение окон на большой высоте способствует проникновению шума от оборудования в окружающую среду на большие расстояния. Фундамент тягодутьевых машин не развязан от общего фундамента здания, не имеет виброизолирующих опор, что приводит к повышению вибрации и появлению структурного шума [29] .

Акустические измерения в котельном цехе РК «Савиново» проводились на уровнях 1,5 м и 7,5 м от пола, в зонах расположения водяных насосов рециркуляции и водяных котлов.

На рисунках 2.32 и 2.33 приведены спектры акустических сигналов, записанные в ближнем акустическом поле водогрейного котла.

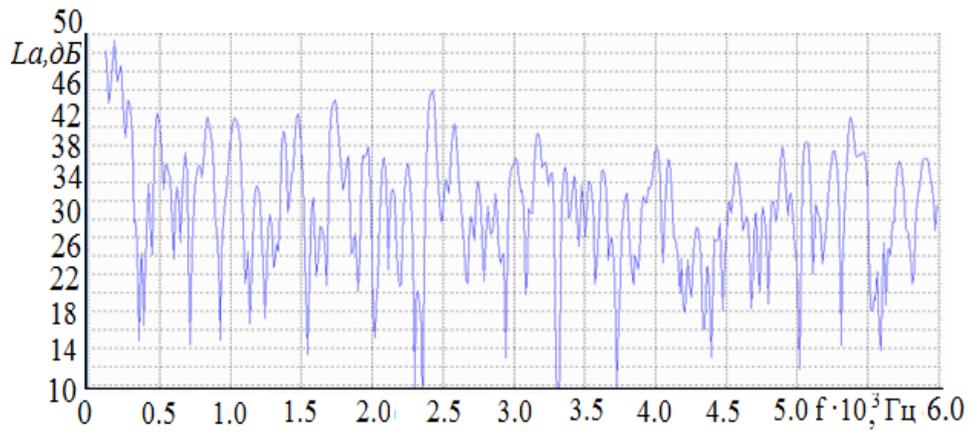


а)

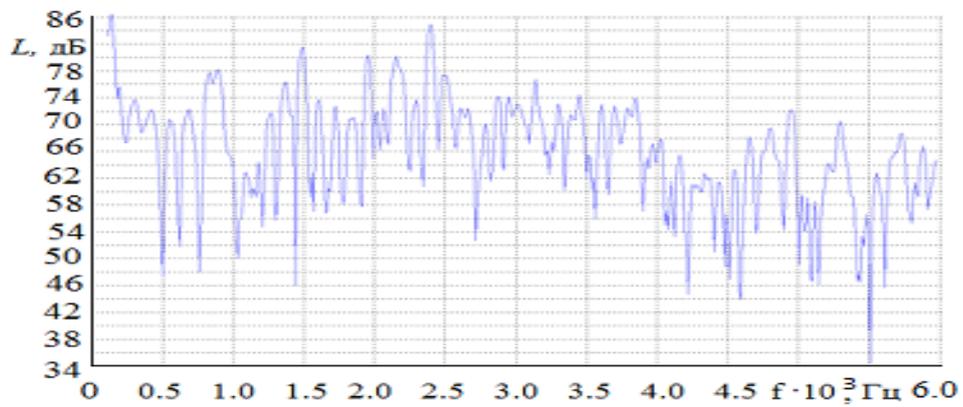


б)

Рисунок 2.32 - Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов насоса рециркуляции котла КВГМ-180 (1,5 м)



а)



б)

Рисунок 2.33 - Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов котла КВГМ-180 (1,5 м)

Сравнивая спектры вибрационных и акустических сигналов (рис.2.32, 2.33), по характерным максимальным амплитудам, присутствующим на обоих анализируемых спектрах, можно сделать вывод, что на частотах 250 Гц, 500 Гц, 800 Гц, 1500 Гц, 1750 Гц, 2000 Гц, 2200 Гц, 2400 Гц, 3250 Гц, 3550 Гц, 3700 Гц, 5200 Гц источниками шумов больших амплитуд являются работающие насосные агрегаты котельных установок.

2.1.3 Экспериментальные исследования характеристик шумового поля вне помещений и цехов

В пп. 2.1.2 было установлено, что нарушения условий монтажа энергоустановок приводят к повышению уровня шума оборудования, который проникает за пределы помещений и цехов котельных в окружающую среду.

С целью определения степени влияния технического состояния энергетического оборудования на шумовое загрязнение окружающей среды, проводились специальные исследования на одном из объектов энергосистемы города – РК «Савиново». (рис.2.34).

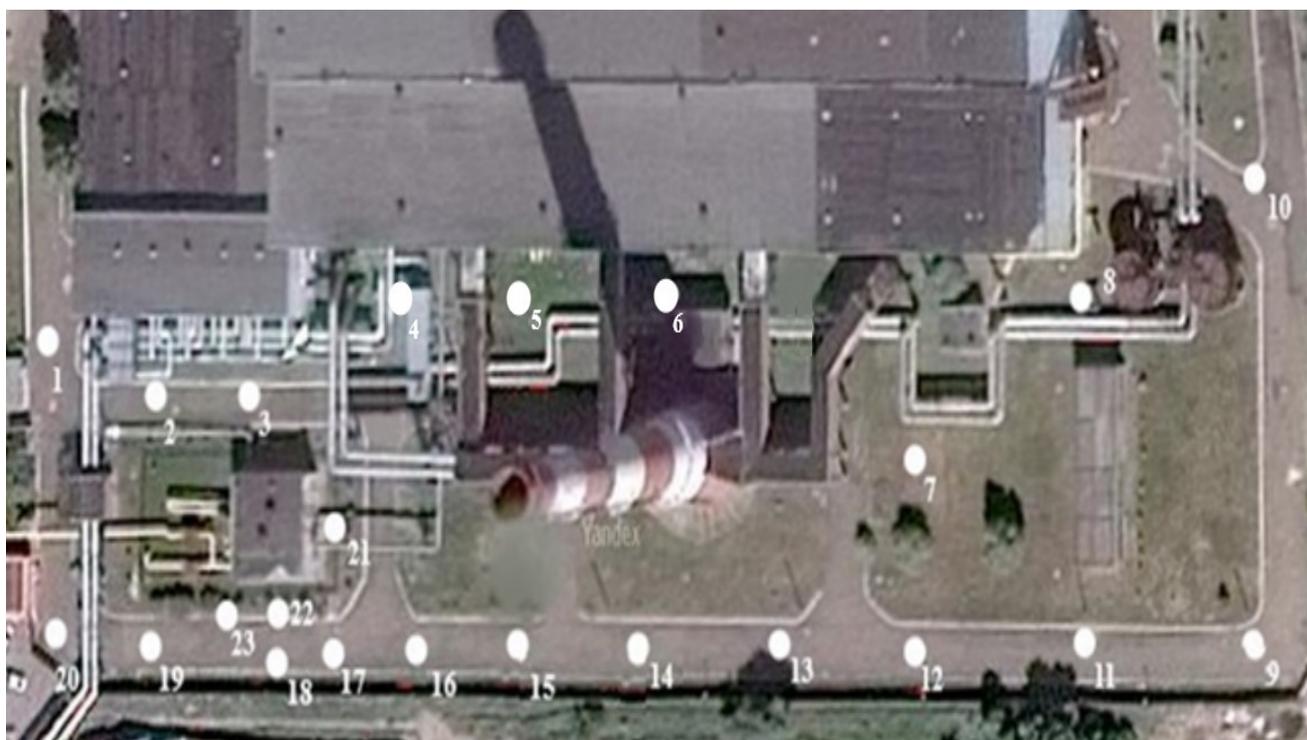


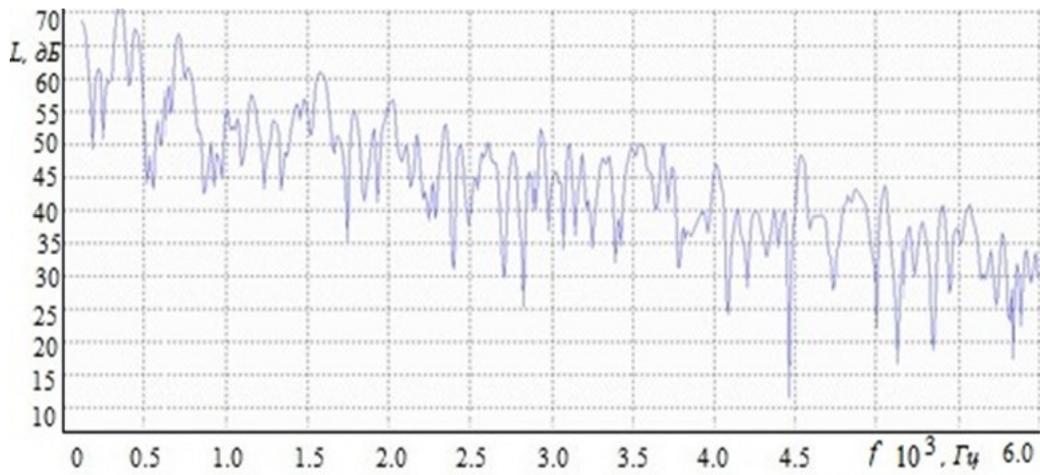
Рисунок 2.34 – Расположение точек измерения на открытой площадке
РК «Савиново»

Результаты акустических измерений на открытой территории промплощадки предприятия приведены в таблице 2.2.

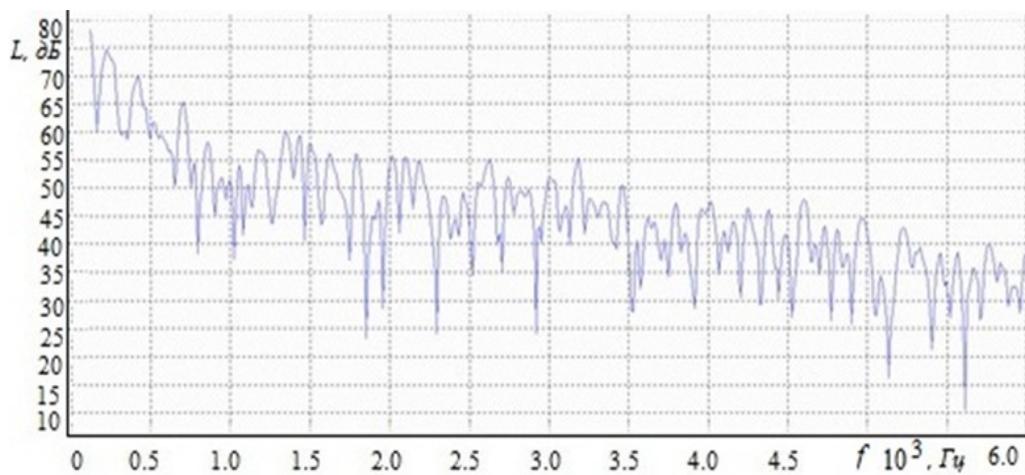
Таблица 2.2 - Результаты измерений шума на открытой площадке котельной
в октавных полосах среднегеометрических частот

Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Точка № 1 (15 м от западной стены цеха сетевой воды)	69	66	64	63	63	61	58	53	42	62
Точка № 2 (10 м от цеха сетевой воды)	80	79	74	77	77	71	68	63	54	77
Точка № 3 (10 м от цеха сетевой воды)	82	79	83	71	71	69	66	62	48	74
Точка № 4 (воздухозабор дутьевого вентилятора)	85	80	73	70	76	<u>76</u>	<u>75</u>	71	57	<u>81</u>
Точка № 5 (воздухозабор дутьевого вентилятора)	83	77	77	77	78	<u>76</u>	<u>75</u>	71	57	<u>81</u>
Точка № 6 (воздухозабор дутьевого вентилятора, не работал)	76	71	63	62	69	72	72	66	50	76
Точка № 7 (25 м от здания)	72	68	63	62	70	74	72	65	49	77
Точка № 8 (участок газопровода 8 м над поверхностью земли)	71	62	57	58	76	<u>77</u>	<u>75</u>	67	49	<u>81</u>
Точка № 9 (юго-восточный угол промплощадки)	69	66	59	52	66	70	68	57	36	72
Точка № 10 (восточная сторона здания)	68	63	58	56	75	<u>78</u>	<u>74</u>	64	49	80
Точка № 11 (2 м от забора)	73	68	62	54	70	70	70	63	44	75
Точка № 12 (2 м от забора)	73	66	62	56	70	73	71	65	46	76
Точка № 13 (2 м от забора)	77	73	66	60	67	73	72	64	46	76
Точка № 14 (2 м от забора)	80	74	72	70	71	72	71	67	52	76
Точка № 15 (2 м от забора)	84	79	73	70	74	73	72	69	55	78
Точка № 16 (2 м от забора)	81	78	71	70	71	71	70	67	53	76
Точка № 17 (2 м от забора)	81	77	67	66	71	71	70	67	54	76
Точка № 18 (2 м от забора)	80	74	69	62	64	71	69	66	55	74
Точка № 19 (2 м от забора)	76	72	67	60	62	64	64	60	50	68
Точка № 20 (юго-западный угол промплощадки)	73	71	63	61	58	58	57	53	39	63
Точка № 21 (3 м от восточной стены здания ГРП)	81	75	75	71	79	80	81	78	68	<u>86</u>
Точка № 22 (2,5 м от южной стены здания ГРП)	74	71	71	64	68	69	70	66	55	74
Точка № 23 (западная сторона здания ГРП, 2,5 м)	77	73	69	64	74	78	76	72	64	<u>82</u>
ПДУ шума на раб.месте, СанПиН 2.2.4.3359-16	107	95	80	82	78	75	73	71	69	80

Ниже, на рисунках 2.34 и 2.35, приведены спектры акустических сигналов для точек №№ 2, 3, расположенных напротив цеха сетевой воды.



а)



б)

Рисунок 2.34 - Спектры акустических сигналов в точках №2 (а) и №3 (б)

На рисунках отчетливо видны «энергонесущие частоты», наблюдаемые [22] в спектрах акустических сигналов, записанных внутри цеха [30] (рис. №№2.2, 2.3) (низкочастотная область спектра, 400-450Гц, 1400Гц, 1500-1550Гц, 2000Гц). Это свидетельствует о том, что здание не полностью экранирует шум, исходящий от насосных агрегатов. При осмотре здания обнаружено, что в некоторых окнах отсутствует стекло, места входа трубопроводов в стену цеха герметично не закрыты (рис.2.36) [22, 29, 30]. Кроме того, доказано, что сама стена цеха, принимая на себя вибрацию оборудования, становится дополнительным генератором шума (рис. 2.7).



Рисунок 2.35 – Цех сетевой воды

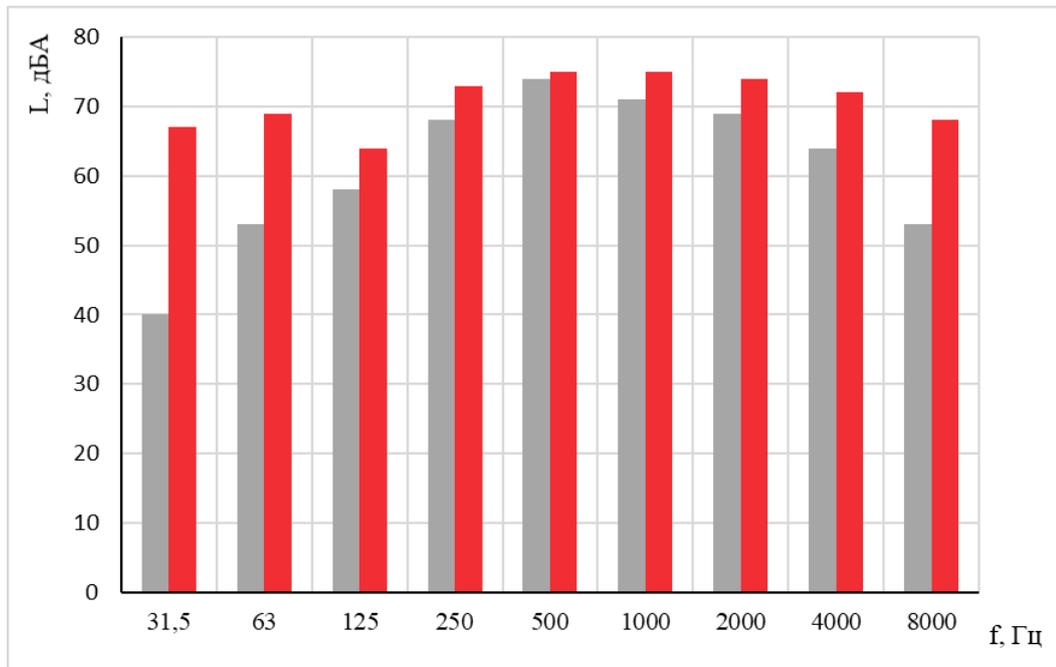


Рисунок 2.36 – Скорректированный октавный спектр шума (серый цвет) напротив цеха сетевой воды и скорректированный предельный спектр (красный цвет)

На рисунке 2.36 приведены скорректированные октавные спектры уровней звукового давления (коррекция-А), а также скорректированные предельные УЗД для рабочих мест. Уровень шума в данной точке 77 дБА, соответствует санитарным требованиям.

В ходе проведения экспериментов обнаружено, что в восточной части площадки предприятия, в зоне расположения наружного газового трубопровода, наблюдается усиление шума с ярко выраженным тональным сигналом. Установлено, что причиной этому является турбулентный шум газового потока, движущийся по газовой трубе [30].



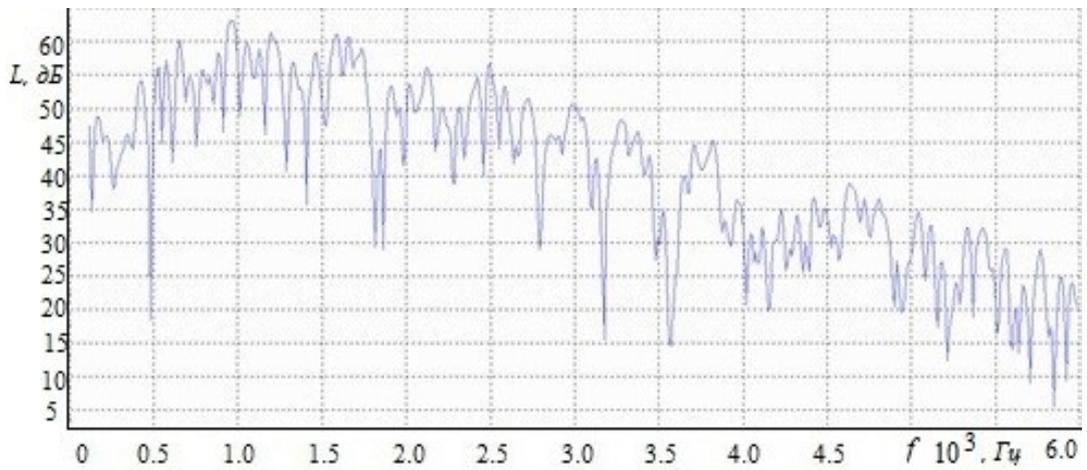
Рисунок 2.37 – Расположение газового трубопровода

Газовая труба проходит по южной стороне здания на высоте 1 м от поверхности земли, далее, за 15 метров до угла здания, поднимается под прямым углом на высоту 8 метров, огибает здание (рис. 2.37) и проходит еще 15 метров до входа в здание котельного цеха (рис. 2.38) [30].

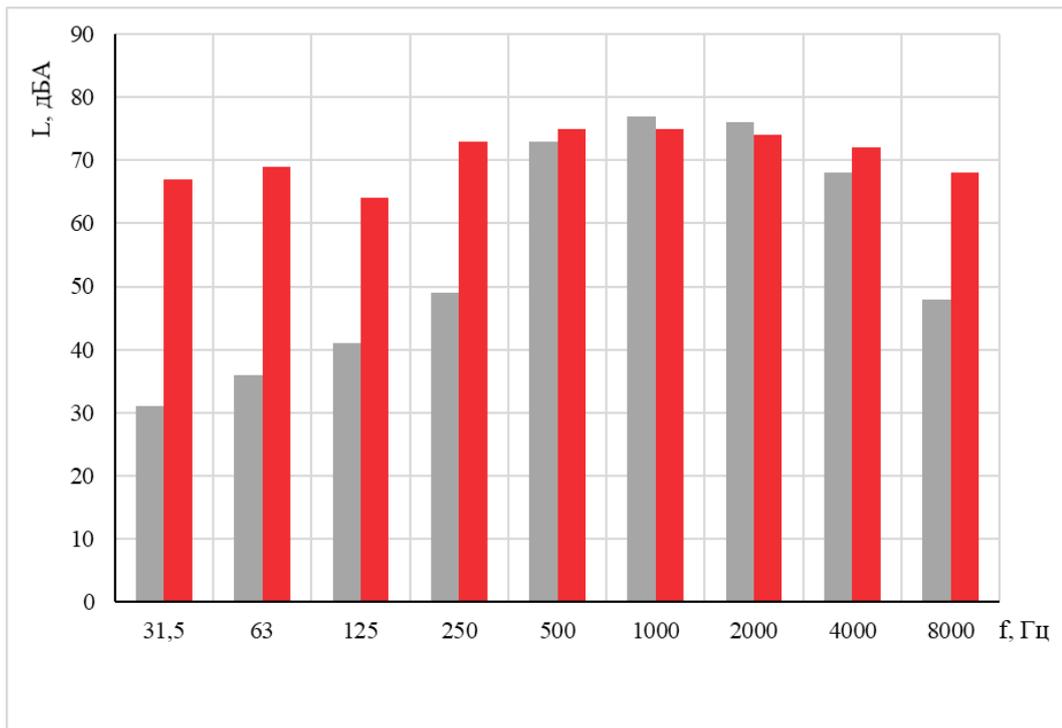


Рисунок 2.38 – Расположение газового трубопровода

Спектры акустического сигнала в зоне расположения газопровода приведены на рисунке 2.39 (а, б).



а)



б)

Рисунок 2.39 – Спектр шума в зоне расположения газового трубопровода (а) и скорректированные октавный спектр шума (серый цвет) и скорректированный предельный спектр (красный цвет)

Максимальные значения уровни звукового давления в среднечастотной области составляют 64-66 дБ. Основной «энергонесущий» диапазон частот 900-1400 Гц (рис. 2.39 а).

Ожидаемо, превышения предельных уровней звукового давления для рабочих мест, создаваемых газопроводом, выявлены для высокочастотной области (1000 Гц, 2000Гц) (рис. 2.39 б). Уровень шума в рассматриваемой зоне 81 дБА.

Из-за того, что газовый трубопровод частично проходит на высоте 8 метров, шум, генерируемый им, не экранируется трехметровым забором предприятия и распространяется на селитебную территорию [30].

Работа газораспределительного пункта играет значительную роль в формировании шумового загрязнения территории предприятия. Отмечается наличие высокочастотных шумов с максимальными уровнями звукового давления до 95-97 дБ в ближнем акустическом поле газового редуктора [29] (рис. 2.17). По мере удаления от источника уровни звукового давления снижаются. Уровень шума, достигающего в окружающую среду, на расстоянии 2,5-3 метров от здания ГРП составил 74-86 дБА. Ниже приведены спектральные характеристики акустических сигналов, записанных снаружи здания ГРП, в точке № 21 [30].

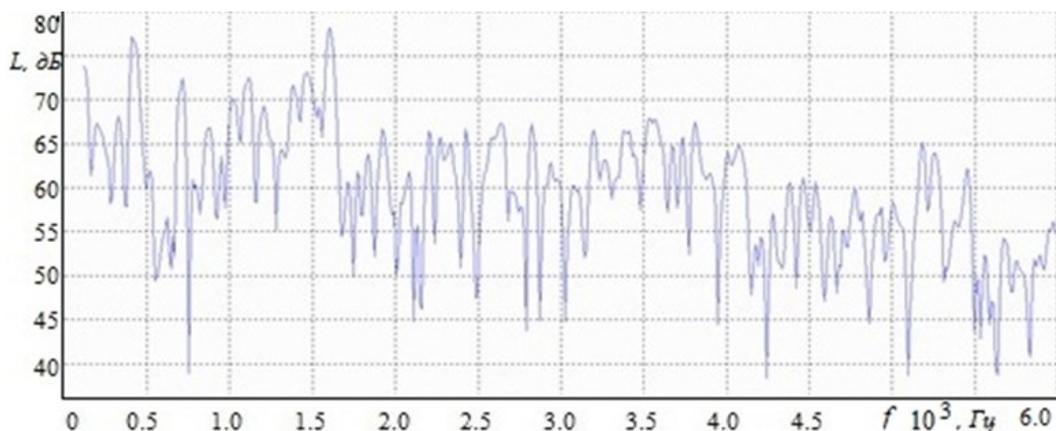


Рисунок 2.40 - Спектр акустического сигнала в точке измерения № 21

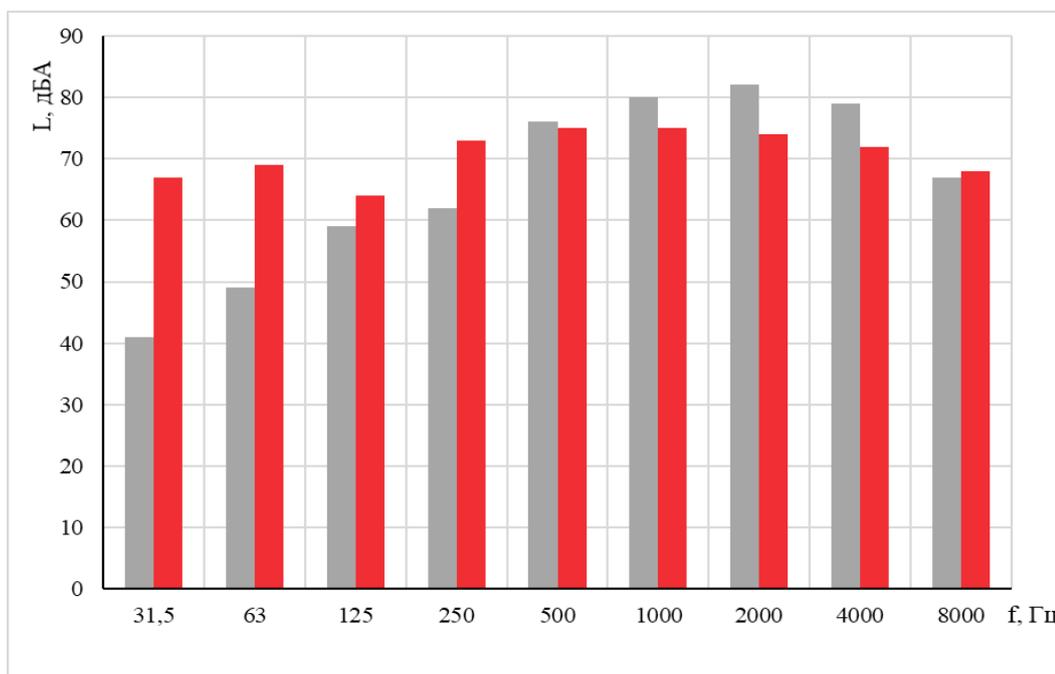
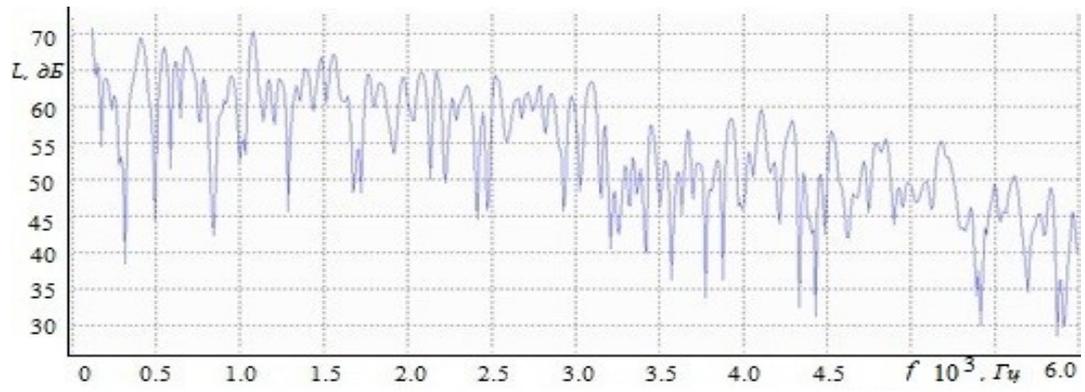


Рисунок 2.41 – Скорректированный октавный спектр шума (серый цвет) в зоне ГРП и скорректированный предельный спектр (красный цвет)

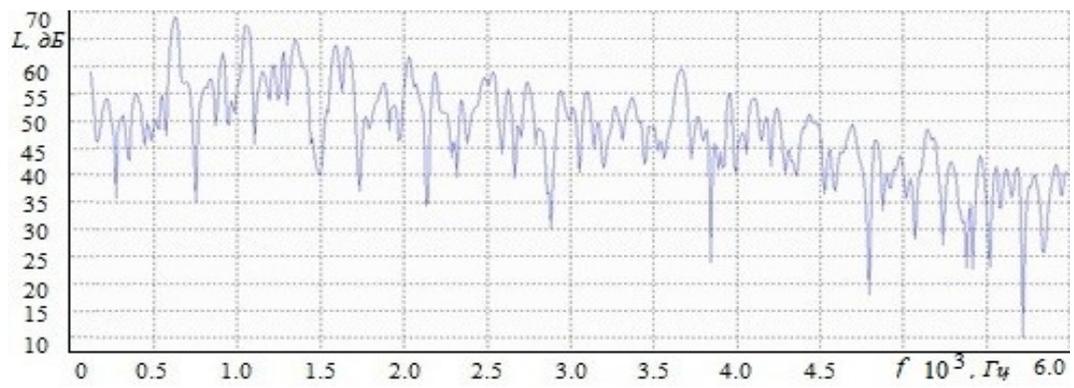
На рисунках 2.40 и 2.41 показано влияние работы газового редуктора на уровень шума на расстоянии 2,5 метров от здания ГРП. Превышение предельных УЗД для рабочих мест в слышимом диапазоне частот выявлено для октавных полос со среднегеометрическими частотами 500 Гц, 1000 Гц, 2000 Гц, 4000 Гц.

Анализ спектров показывает, что кроме отчетливо проявляющегося себя в формировании шумовой картины редуктора (высокочастотная область), участвуют и другие источники шума с характерными им свойствами.

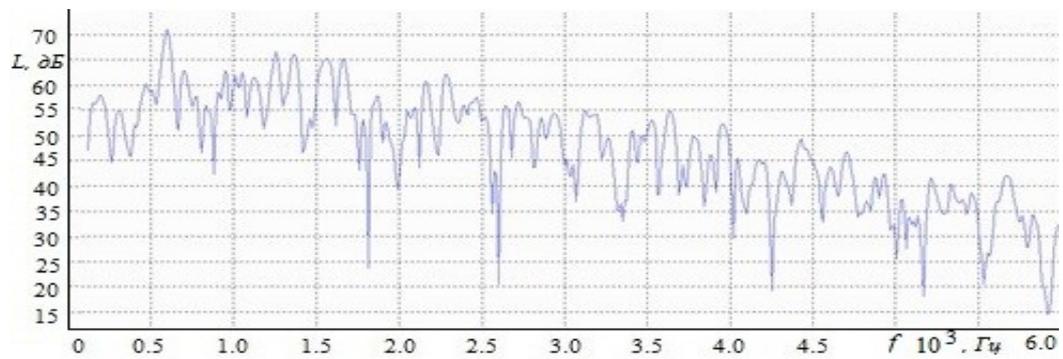
Влияние дымососных агрегатов на шумовую обстановку также имеется. По большинству октавных полос вклад в превышение ПДУ шума данного участка предприятия подтверждается присутствием в них «энергонесущих частот» больших амплитуд, характерных для работы дымососов (рис. 2.42).



а)



б)



в)

Рисунок 2.42 - Спектры акустических сигналов в точках №5 (а), №6 (б), №7 (в)

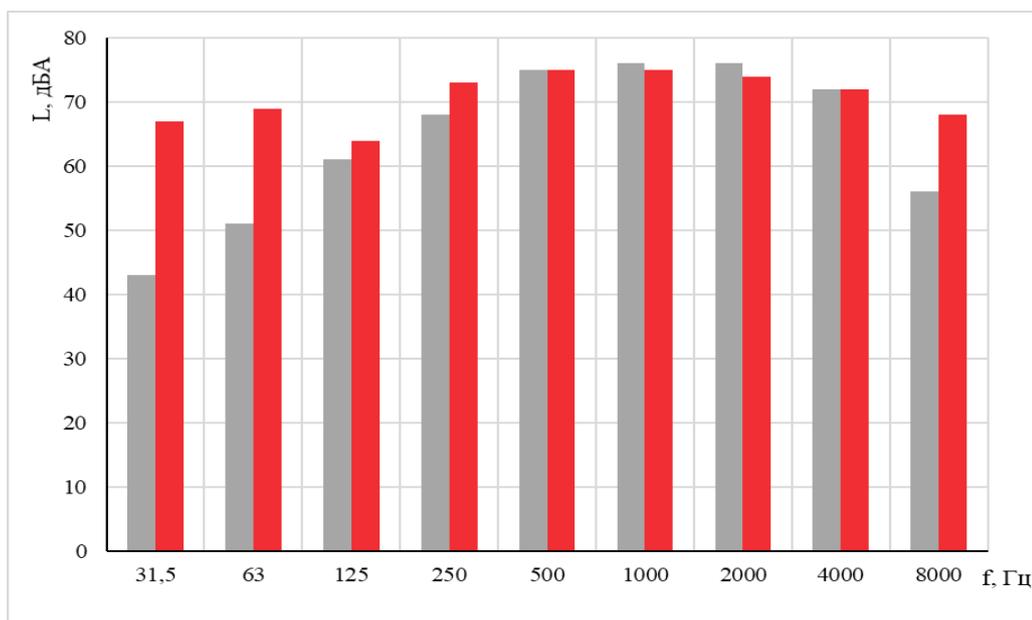


Рисунок 2.43 – Скорректированный октавный спектр шума (серый цвет) в зоне воздухозабора дутьевого вентилятора и скорректированный предельный спектр (красный цвет)

Небольшие превышения предельных УЗД для рабочих мест наблюдаются в высокочастотной области, уровень шума в этой точке составляет 81 дБА.

Котельный цех расположен за дымососным участком и, следовательно, в меньшей степени влияет на шумовую обстановку открытой площадки котельной и селитебной территории.

2.1.4 Экспериментальные исследования характеристик шумового поля на территориях жилых зон, прилегающих к районным котельным

Районные котельные относятся к объектам третьего класса опасности, ширина санитарно-защитной зоны (СЗЗ) которых должна составлять 300 метров. Рассматриваемые котельные расположены внутри плотной городской застройки (рис.1.2), нормативные СЗЗ не выдержаны [24, 25]. В границы СЗЗ попадают жилые дома. Например, районная котельная «Савиново» расположена в жилом массиве поселка Дружба города Казани, первый ряд жилых домов находится от предприятия на расстоянии всего 10-15 метров. Измеренные значения уровней

шума около котельных составили 71 дБА (Савиново), 64дБА (Азино) и 62 дБА (Горки), на границах нормативных СЗЗ - 58 дБА (Савиново), 54 дБА (Азино) и 51 дБА (Горки). Санитарными нормами [97] определено допустимое значение уровня шума в жилых помещениях и шума на территории жилой застройки на уровне 55 дБА в дневное время и 45 дБА в ночное [30]. Кроме того, для шума, создаваемого в помещениях и на территориях, прилегающих к зданиям, системами кондиционирования воздуха, воздушного отопления и вентиляции и др. инженерно-технологическим оборудованием, принимается поправка -5 дБА [98]. Следовательно, трехсотметровая зона не обеспечивает необходимого снижения уровня шума от рассматриваемых котельных.

Подробный акустический анализ был проведен на прилегающей к РК «Савиново» территории поселка Дружба. Шумовое поле в жилой зоне поселка сканировалось путем регистрации акустического сигнала в 25 контрольных точках, местоположение которых определялось на основе анализа результатов предварительных исследований. Первый ряд точек располагался на расстоянии 10-15 метров от границы забора предприятия, следующие ряды точек - на равном удалении от предыдущего [22].

Исследование шумового поля проводилось в дневное и ночное время (рис. 2.44). Результаты измерений приведены в таблицах 2.3 и 2.4.



Рисунок 2.44 – Расположение точек установки микрофона в жилом массиве

Таблица 2.3 - Дневные результаты акустических измерений
в жилом массиве

Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Точка № 24	69	67	61	<u>59</u>	<u>65</u>	<u>58</u>	<u>53</u>	<u>47</u>	36	<u>65</u>
Точка № 25	70	64	53	49	<u>60</u>	<u>54</u>	<u>46</u>	39	33	<u>62</u>
Точка № 26	60	60	58	<u>56</u>	<u>53</u>	<u>47</u>	<u>44</u>	36	28	<u>54</u>
Точка № 27	59	58	50	47	46	<u>47</u>	40	27	22	<u>51</u>
Точка № 28	66	60	52	49	49	<u>46</u>	<u>43</u>	34	37	<u>51</u>
Точка № 29	65	65	57	54	<u>50</u>	45	41	<u>43</u>	38	<u>52</u>
Точка № 30	58	60	53	47	48	44	41	32	26	50
Точка № 31	64	59	55	52	<u>52</u>	<u>47</u>	<u>44</u>	38	21	<u>53</u>
Точка № 32	65	59	57	51	<u>56</u>	<u>51</u>	<u>51</u>	<u>46</u>	29	<u>58</u>
Точка № 33	76	<u>71</u>	<u>62</u>	54	<u>65</u>	<u>64</u>	<u>61</u>	<u>59</u>	<u>45</u>	<u>68</u>

Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Точка № 34	74	69	<u>60</u>	<u>55</u>	<u>50</u>	<u>49</u>	<u>47</u>	40	<u>43</u>	<u>53</u>
Точка № 35	72	64	57	53	48	<u>46</u>	40	37	35	<u>52</u>
Точка № 36	80	<u>75</u>	<u>69</u>	<u>63</u>	<u>51</u>	<u>52</u>	<u>49</u>	<u>41</u>	24	<u>60</u>
Точка № 37	55	58	45	41	48	<u>50</u>	<u>46</u>	36	20	<u>53</u>
Точка № 38	71	62	54	49	<u>63</u>	<u>66</u>	<u>61</u>	<u>51</u>	36	<u>68</u>
Точка № 39	68	60	58	<u>55</u>	<u>60</u>	<u>60</u>	<u>55</u>	<u>47</u>	<u>43</u>	<u>63</u>
Точка № 40	76	68	60	51	<u>54</u>	<u>60</u>	<u>53</u>	<u>43</u>	<u>45</u>	<u>62</u>
Точка № 41	59	59	60	<u>58</u>	<u>60</u>	<u>57</u>	<u>54</u>	<u>45</u>	39	<u>62</u>
Точка № 42	74	66	58	51	49	<u>48</u>	<u>47</u>	39	<u>41</u>	<u>54</u>
Точка № 43	76	63	54	50	49	45	<u>41</u>	<u>43</u>	<u>38</u>	<u>52</u>
Точка № 44	77	<u>73</u>	<u>65</u>	<u>60</u>	<u>51</u>	<u>48</u>	<u>43</u>	39	<u>42</u>	<u>56</u>
Точка № 45	59	55	49	43	43	45	41	30	27	<u>48</u>
Точка № 46	79	<u>76</u>	<u>70</u>	<u>63</u>	<u>53</u>	<u>54</u>	<u>51</u>	39	35	<u>61</u>
Точка № 47	62	56	50	45	<u>53</u>	<u>52</u>	<u>49</u>	40	35	<u>55</u>
Точка № 48	60	55	52	43	<u>54</u>	<u>56</u>	<u>53</u>	<u>42</u>	34	<u>59</u>
ПДУ СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (7.00-23.00)	85	70	61	54	49	45	42	40	39	50

Таблица 2.4 - Ночные результаты акустических измерений
в жилом массиве

Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Точка № 24	76	<u>72</u>	<u>66</u>	<u>64</u>	<u>64</u>	<u>61</u>	<u>54</u>	<u>51</u>	<u>47</u>	<u>65</u>
Точка № 25	60	60	<u>54</u>	<u>48</u>	<u>50</u>	<u>46</u>	<u>40</u>	<u>35</u>	23	<u>50</u>
Точка № 26	67	59	<u>56</u>	<u>55</u>	<u>54</u>	<u>51</u>	<u>51</u>	<u>48</u>	<u>45</u>	<u>57</u>
Точка № 27	59	59	<u>60</u>	<u>59</u>	<u>58</u>	<u>51</u>	<u>48</u>	<u>43</u>	<u>41</u>	<u>58</u>
Точка № 28	51	52	<u>53</u>	<u>48</u>	<u>45</u>	<u>40</u>	<u>40</u>	<u>41</u>	26	<u>48</u>
Точка № 29	61	58	<u>58</u>	<u>54</u>	<u>53</u>	<u>55</u>	<u>51</u>	<u>41</u>	<u>31</u>	<u>58</u>
Точка № 30	54	54	<u>53</u>	<u>66</u>	<u>63</u>	<u>53</u>	<u>40</u>	<u>35</u>	22	<u>62</u>
Точка № 31	57	56	<u>55</u>	<u>61</u>	<u>62</u>	<u>53</u>	<u>47</u>	<u>44</u>	<u>40</u>	<u>60</u>

Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Точка № 32	69	57	<u>57</u>	<u>54</u>	<u>54</u>	<u>50</u>	<u>49</u>	<u>46</u>	<u>36</u>	<u>56</u>
Точка № 33	68	61	<u>60</u>	<u>61</u>	<u>68</u>	<u>58</u>	<u>52</u>	<u>49</u>	<u>43</u>	<u>71</u>
Точка № 34	61	54	50	<u>45</u>	<u>52</u>	<u>52</u>	<u>49</u>	<u>49</u>	<u>36</u>	<u>56</u>
Точка № 35	54	51	47	41	39	<u>40</u>	<u>36</u>	<u>28</u>	18	<u>43</u>
Точка № 36	60	56	<u>56</u>	<u>62</u>	<u>67</u>	<u>59</u>	<u>53</u>	<u>49</u>	<u>45</u>	<u>65</u>
Точка № 37	61	54	49	44	<u>50</u>	<u>51</u>	<u>49</u>	<u>44</u>	<u>34</u>	<u>55</u>
Точка № 38	74	62	<u>54</u>	<u>50</u>	<u>62</u>	<u>64</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>45</u>	<u>65</u>
Точка № 39	65	60	50	43	<u>56</u>	<u>55</u>	<u>52</u>	<u>44</u>	28	<u>59</u>
Точка № 40	59	56	<u>61</u>	62	<u>63</u>	<u>58</u>	<u>55</u>	<u>49</u>	<u>39</u>	<u>64</u>
Точка № 41	55	52	46	43	<u>53</u>	<u>52</u>	<u>52</u>	<u>42</u>	21	<u>57</u>
Точка № 42	57	54	<u>54</u>	<u>54</u>	<u>52</u>	<u>47</u>	<u>45</u>	<u>45</u>	<u>41</u>	<u>54</u>
Точка № 43	53	51	46	41	<u>43</u>	<u>42</u>	<u>38</u>	<u>32</u>	21	<u>46</u>
Точка № 44	53	55	52	<u>61</u>	<u>56</u>	<u>47</u>	<u>47</u>	<u>41</u>	<u>32</u>	<u>58</u>
Точка № 45	53	49	45	40	<u>40</u>	<u>42</u>	<u>39</u>	<u>39</u>	20	<u>46</u>
Точка № 46	64	62	<u>59</u>	<u>60</u>	<u>58</u>	<u>53</u>	<u>49</u>	<u>46</u>	42	<u>59</u>
Точка № 47	55	58	45	41	<u>48</u>	<u>50</u>	<u>46</u>	<u>36</u>	20	<u>53</u>
Точка № 48	65	60	<u>55</u>	<u>51</u>	<u>54</u>	<u>54</u>	<u>51</u>	<u>46</u>	<u>42</u>	<u>58</u>
ПДУ СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (23.00-7.00)	78	62	52	44	39	35	32	30	28	40

Нижнем подчеркиванием в таблицах отмечены уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровень звука, превышающие предельно допустимые уровни. Результаты свидетельствуют о значительном превышении предельных санитарных норм общего шума на всей территории жилой застройки в дневное и ночное время суток. Наибольшее количество превышений нормативов по шуму выявлены в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 250, 500, 1000, 2000 и 4000 Гц. Для достижения санитарных нормативов, общий уровень шума на территории поселка должен быть снижен на 30 дБА [22, 30].

Сравнительный анализ спектральных характеристик, полученных для разных контрольных точек, расположенных как на селитебной территории, так и на

территории котельной, однозначно определяет, что источником неблагоприятной шумовой обстановки является энергетическое оборудование [22]. На рисунках 2.45-2.49 приведены скорректированные октавные спектры шума в точках измерения (контрольных точках), расположенных на наименьшем расстоянии от границы предприятия – точки №№24, 33, 38, 39, 48 (рис.2.44).

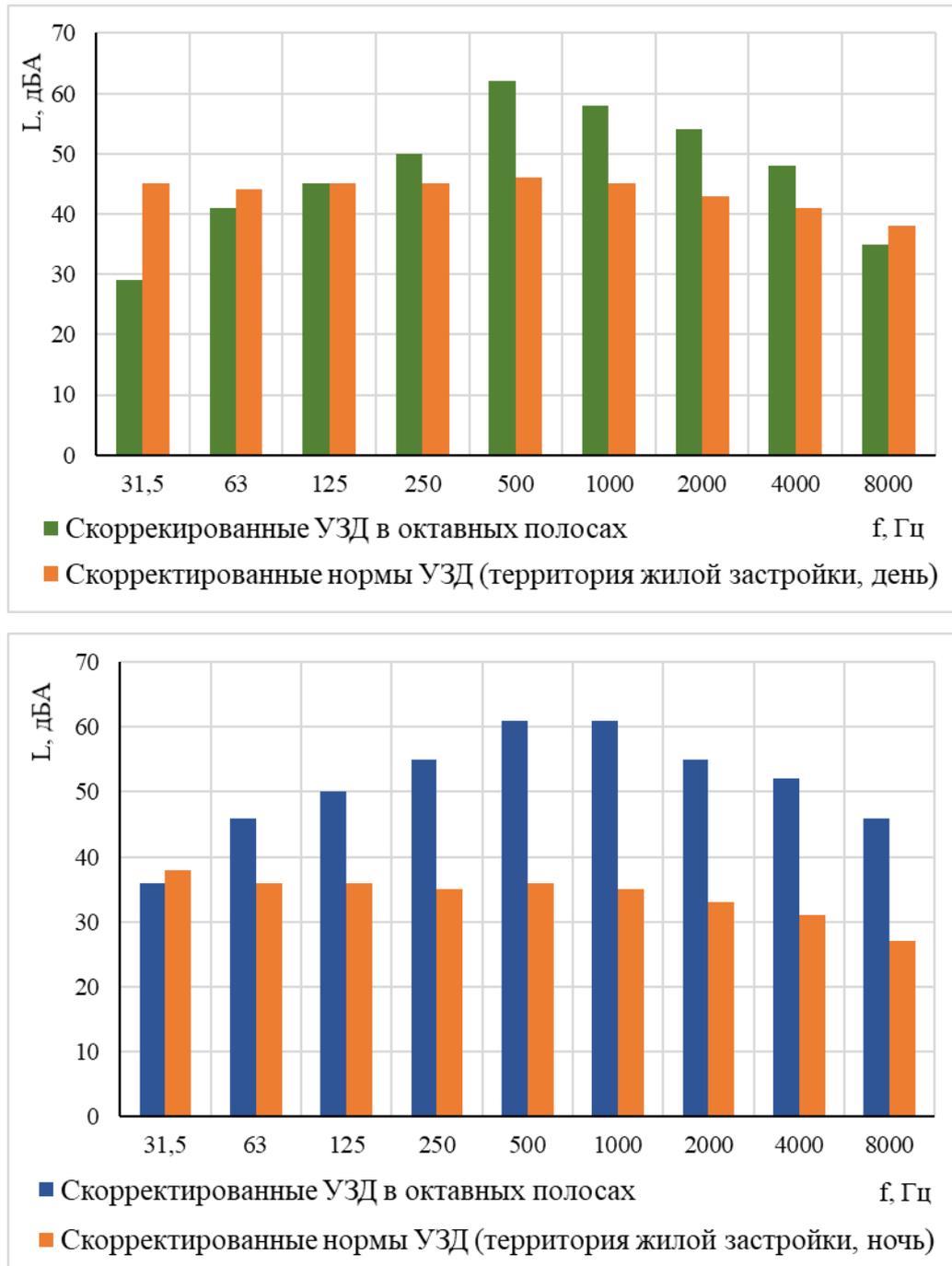


Рисунок 2.45 – Октавные спектры шума (день/ночь) в точке №24

Точка №24 (рис. 4.24) расположена в жилой зоне в проекции (напротив) цеха сетевой воды. Сравнивая приведенное на рисунке 2.45 распределение уровней звукового давления по октавным полосам частот с уровнями звукового давления, около цеха (рис.2.36), видно, что ход спектра подобен. Работа сетевых насосов в значительной степени влияет на уровень шума в данной контрольной точке. Превышение нормативов УЗД наблюдается в низко-, средне- и высокочастотной частях спектра.

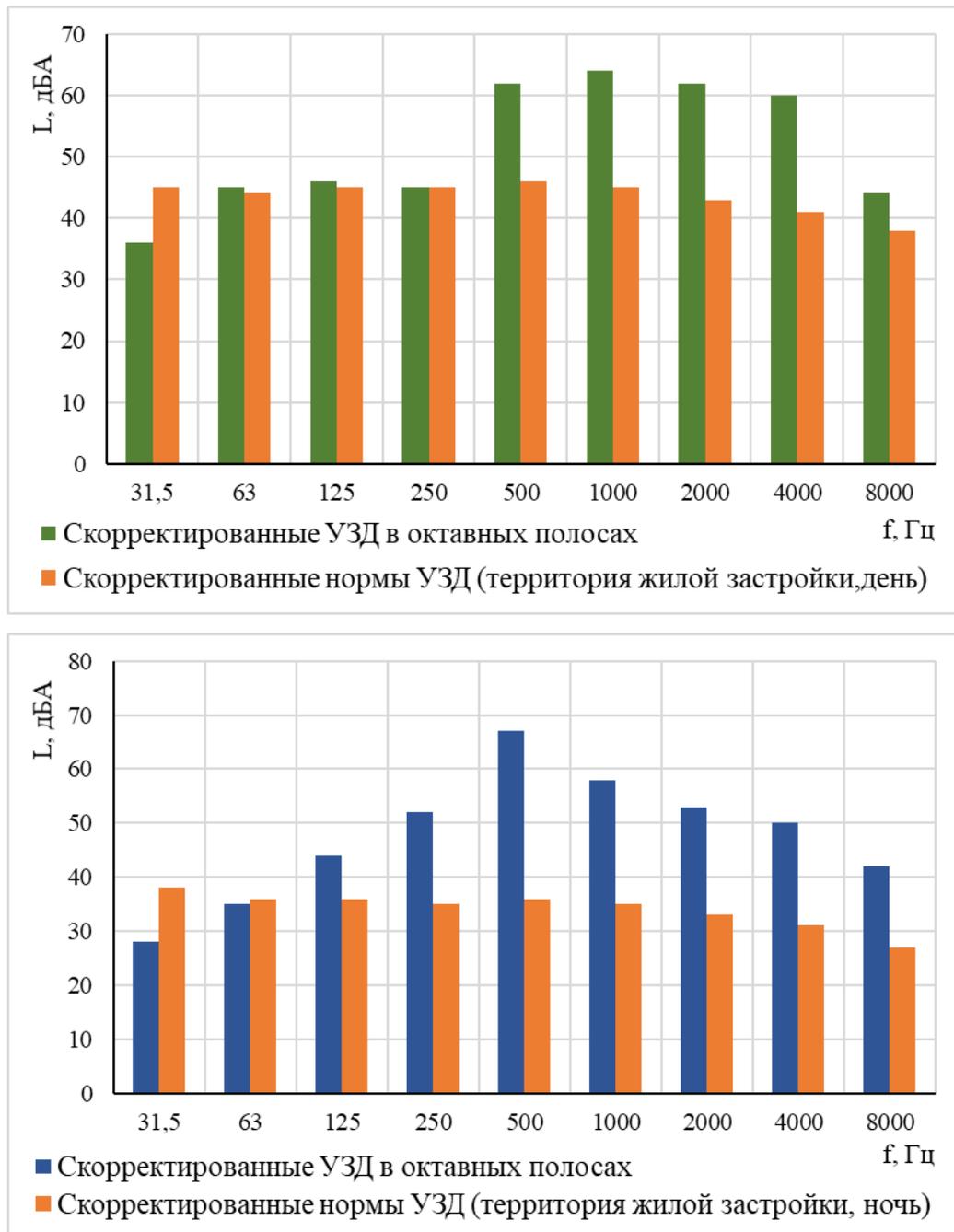


Рисунок 2.46 - Октавные спектры шума (день/ночь) в точке №33

Точка №33 (рис. 4.24) ближе всего расположена к зданию газораспределительного пункта, для которого характерна генерация высокочастотного шума. Превышения УЗД в высокочастотной области спектра в этой контрольной точке обусловлены влиянием работы газового редуктора. Превышение шума в низко- и среднечастотной областях можно объяснить вкладом сетевых насосов (рис. 2.36) и дутьевых вентиляторов (рис.2.43).

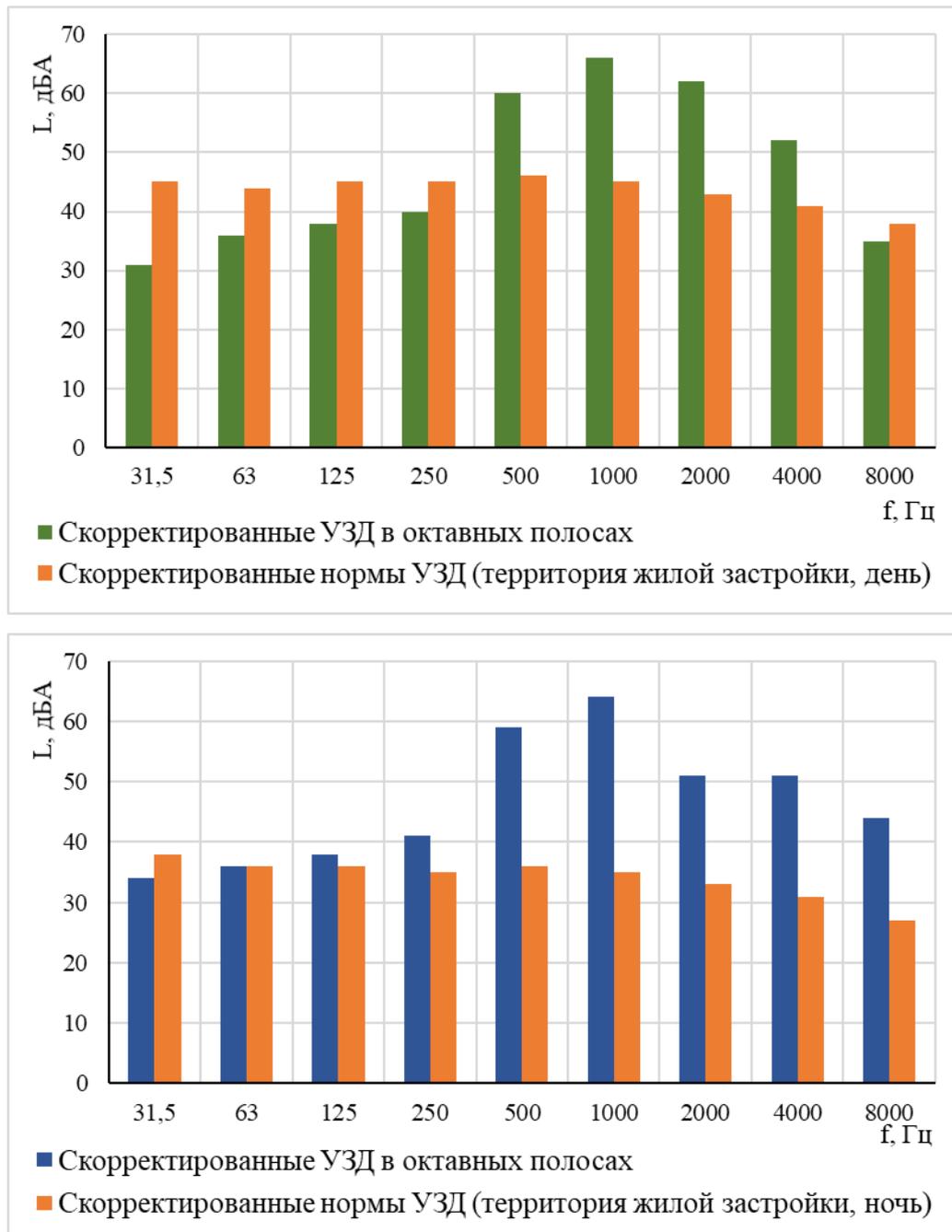


Рисунок 2.47- Октавные спектры шума (день/ночь) в точке №38

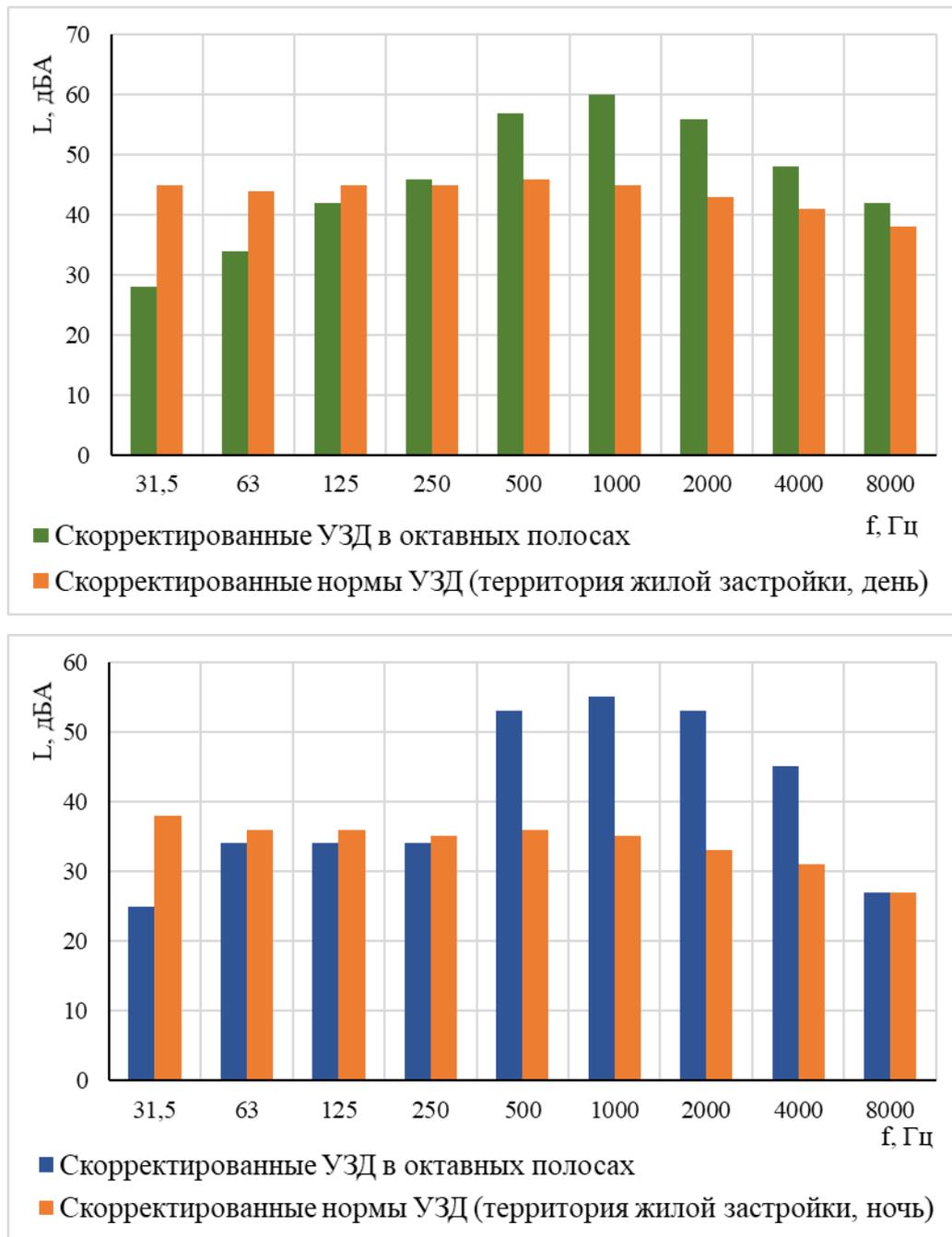


Рисунок 2.48 - Октавные спектры шума (день/ночь) в точке №39

Точки №38 (рис. 2.47) и №39 (рис. 2.48) расположены в проекции воздухозаборов дутьевых вентиляторов, в спектре которых (рис. 2.43) максимальные амплитуды УЗД в октавных полосах частот 500 Гц, 1000 Гц, 2000 Гц, 4000 Гц. На территории жилого массива в рассматриваемых точках также зафиксированы максимальные значения УЗД для полос частот 500 Гц, 1000 Гц, 2000 Гц.

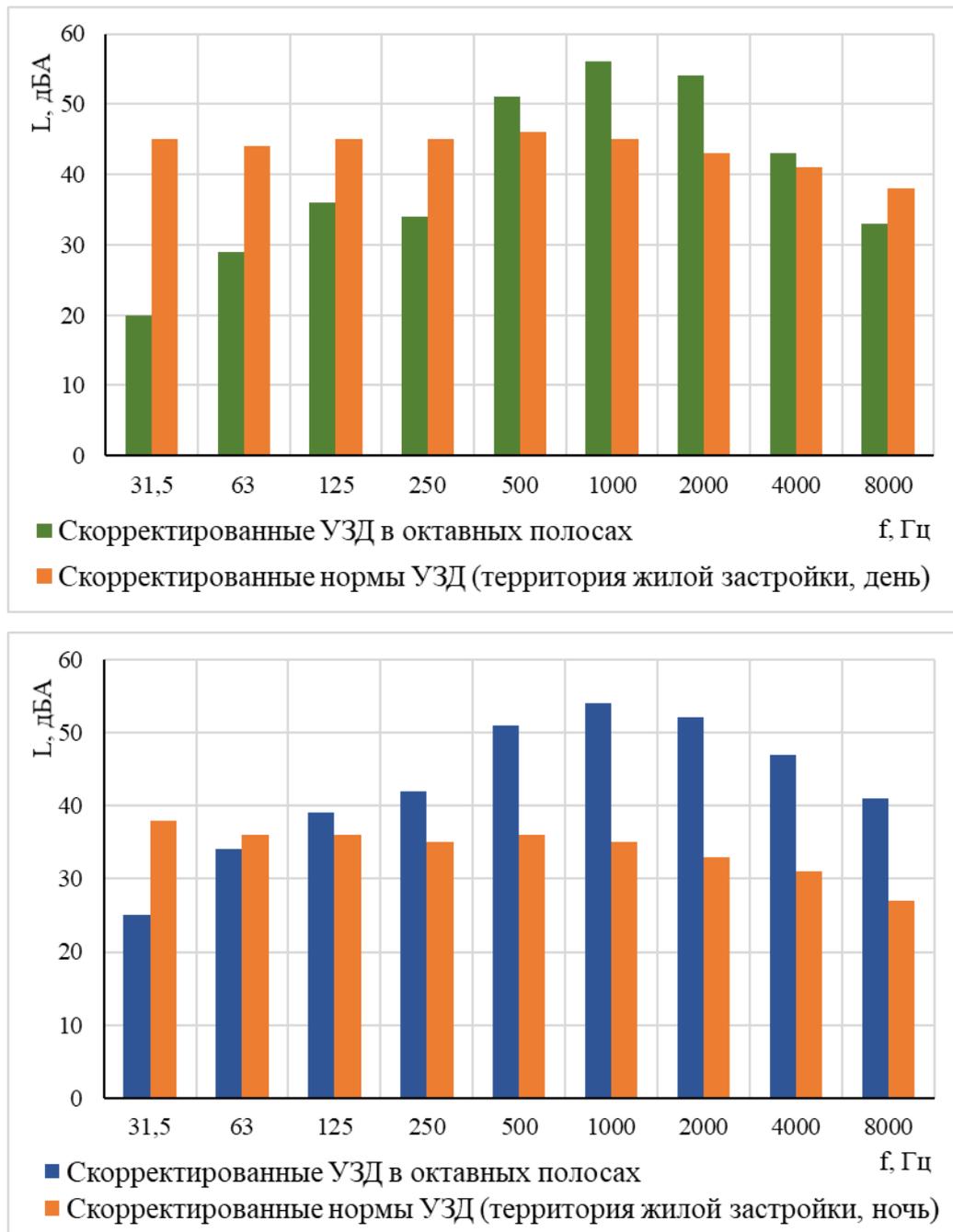


Рисунок 2.49 - Октавные спектры шума (день/ночь) в точке №48

Контрольная точка №48 расположена напротив участка газопровода, проходящего на 8 м высоте по фасаду здания котельной. Распределение УЗД по октавным полосам подобно распределению УЗД на спектре акустического сигнала, записанного на промплощадке (рис.2.34, точка №8). Следовательно, в этом участке жилого массива на уровень шума значительное влияние оказывает газопровод.

Таким образом, в каждой точке измерения уровень шума отражает суммарный вклад каждого из источников. Спектры сигналов содержат те же «энергонесущие

частоты», характерные для рассмотренного выше энергетического оборудования. В зависимости от расположения точки измерения, вклад рассматриваемых источников разный.

2.2 Установление зависимости уровня шума в ближнем акустическом поле от технического состояния конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных

Проведенный анализ позволил выделить группы причин, способствующих повышению вибрации оборудования, появлению структурного шума и как следствие увеличению шумовых характеристик энергоустановок и шумовому загрязнению окружающей среды (рис. 2.50 а, б, в).

а) Отсутствие виброопор, виброизолирующих покрытий, виброизолирующих фундаментов энергооборудования.



б) Отсутствие виброизолирующих вставок (компенсаторов), виброизолирующих прокладок.



в) Неплотности в элементах конструкции здания, отсутствие остекления и т.п.



Рисунок 2.51 – Причины, способствующие шумовому загрязнению окружающей среды районными котельными

Можно сказать, что выявленные причины носят системный характер, так как характерны всем исследованным объектам теплоэнергетики.

2.3 Выводы по главе 2

1. Санитарные защитные зоны рассмотренных объектов энергетики не обеспечивают необходимого снижения уровня шума. Кроме того, территории СЗЗ застроены жилыми домами. Шумовое загрязнение жилой застройки значительно, превышение ночных нормативов составляет 30 дБА. Установлено влияние работы энергоустановок котельных на повышение уровня звукового давления в окружающей среде, показан вклад разных источников в формирование шумового поля жилой застройки.

2. Проведенные экспериментальные исследования виброакустических характеристик энергетического оборудования районных котельных г.Казани «Савиново», «Горки», «Азино» позволили установить зависимость уровня шума в ближнем акустическом поле от технического состояния конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных. Выявлен существенный вклад структурного шума в формирование общего шума.

3. Основные причины повышения вибрации оборудования, появления структурного шума и, как следствие, увеличение шумовых характеристик энергоустановок следующие: отсутствие виброопор, виброизолирующих фундаментов энергооборудования, отсутствие виброизолирующих вставок (компенсаторов) в трубопроводах, виброизолирующих прокладок в местах крепления оборудования к опорным конструкциям, неплотности в элементах конструкции здания, отсутствие остекления и т.п. Доказано, что эти нарушения носят системный характер.

4. Экспериментальные зависимости уровня шума в окружающей среде от технического состояния вспомогательного оборудования, зданий и сооружений, используемых в энергетической системе теплоснабжения, являются исходными данными для проведения расчетных исследований при разработке комплекса технических мероприятий по улучшению акустической обстановки на прилегающих к районным котельным города территориям.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШУМОВОГО ПОЛЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ

3.1 Современные подходы моделирования в акустике, анализ специализированных программных комплексов

Во введении отмечалось негативное влияние шумового загрязнения на организм человека. Следует отметить, что степень шумового загрязнения окружающей среды продолжает расти. Это объясняется неуклонным ростом количества автомобильного транспорта, увеличением мощности энергетического оборудования, степенью механизации ручного труда и т. д.

Несмотря на то, что в последние десятилетия техническая акустика в своем развитии продвинулась далеко вперед, вопросы борьбы с шумом только добавляются. Актуальным становится решение задачи по прогнозированию акустической обстановки вокруг того или иного объекта, оборудования, машины и т. д. Практика показывает, что при решении такой задачи весьма перспективны расчетные модели. Эти модели начали появляться в связи с развитием IT-технологий. В настоящее время разработчиками программ предлагаются различные вычислительные программные комплексы. Эти комплексы позволяют виртуально визуализировать шумовое загрязнение в окружающей среде от различных источников шума, моделировать влияние рельефа местности, различных преград, промышленных и жилых застроек на распространение шума в трех измерениях. Кроме того, программные комплексы при расчете уровней звукового давления в расчетных точках позволяют учесть затухание звука на пути распространения, отражение от преграды и поверхности земли, что практически не представляется возможным при выполнении расчетов вручную одновременно для нескольких десятков источников шума. Степень объективности результатов, полученных при их использовании, является основным критерием качества расчетных моделей. Определить это возможно на основе анализа большой серии

тестовых испытаний, проверки сходимости расчетных и опытных данных, полученных при решении практических задач. В открытой печати можно найти достаточное количество статей, в которых приведены результаты исследований акустических характеристик в той или иной постановке [5-9, 14, 50, 51, 53, 60, 70, 126]. В работе [126] представлены результаты детальных исследований акустической обстановки в одном из жилых районов г. Москвы, целью которых явилось сравнение характеристик предлагаемых программных средств. Расчеты проводились тремя программными средствами:

- программой АРМ «Акустика» (версия 3), разработанной российской компанией ООО «ТЕХНОПРОЕКТ» [103];
- комплексом программ «Эколог-Шум» (версия 2.1.0.2584), разработанных российской компанией "Интеграл" [134];
- программой «Predictor» (версия 8.13) [87], разработанной совместной голландско-немецкой фирмой «SoftNoise».

Во всех программных средствах использован один метод расчета, основанный на положениях [37]. Авторами [126] проводился расчет параметров шума потока автотранспорта. В качестве исходных данных использовались: интенсивность движения, средняя скорость движения автотранспорта, доля средств грузового и общественного транспорта, вид покрытия проезжей части и характер грунта между дорогами и расчетными точками [126]. Так как в программе «Predictor» не учитывается полосность дороги, то при расчете с помощью других программных средств этот параметр дорог также не принимался во внимание. Дороги разбивали на определенное число прямолинейных участков [126].

На первом этапе во всех программах были рассчитаны значения шумовых характеристик дорог. В отечественных программах АРМ «Акустика» и «Эколог-Шум» в качестве этого параметра использовались эквивалентные уровни звука в 7,5 м от середины ближней полосы движения на высоте 1 м от уровня дороги. В программе «Predictor» расчет значений шумовых характеристик дорог производился в соответствии с голландской методикой [126, 148].

Все три сравниваемые программы проводят расчет УЗД в расчетных точках по формуле [37, 126, 145]:

$$L = L_W + D_C - A \quad (3.1)$$

где L – октавный уровень звукового давления, дБ;

L_W – октавный уровень звуковой мощности точечного источника звука, дБ;

D_C – поправка на направленность излучения;

A – затухание звука при распространении на местности, дБ.

В рассматриваемых программах отличается метод аппроксимации линейного источника шума, в данном случае автодороги, рядом точечных источников [126].

Уровень звуковой мощности L_W точечного источника звука рассчитывался с помощью выражения [37, 126]:

$$L_W = L_W + 10 \lg \frac{l_i}{l_0} \quad (3.2)$$

где l_i – длина отрезка дороги; $l_0 = 1$ м.

Далее, для каждого точечного источника рассчитывался уровень звукового давления (УЗД). Полученные значения УЗД были энергетически просуммированы для всех точечных источников, т.е. для всех выделенных элементарных участков дорог.

Расчет затухания проводился по формуле [37, 144, 145]:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{fol} + A_{site} + A_{hous} \quad (3.3)$$

где A_{div} – затухание из-за геометрической дивергенции, дБ;

A_{atm} – затухание из-за поглощения звука атмосферой, дБ;

A_{gr} – затухание из-за влияния покрытия грунта, дБ;

A_{bar} – затухание из-за экранирования, дБ;

A_{fol} – затухание из-за влияния зеленых насаждений, дБ;

A_{site} – затухание в промышленных зонах, дБ;

A_{hous} – затухание в жилых массивах, дБ.

Большой интерес вызывает сравнительный анализ полученных результатов.

В случае, когда рассматривалась грунтовая дорога, наиболее достоверные результаты получены при использовании программы АРМ «Акустика». Расхождение в результатах, полученных с помощью программ АРМ «Акустика» и «Эколог-Шум» составляет от 2 дБА до 10 дБА [126]. Причиной такого расхождения явилось то, что уровень шума в исследуемой точке при расчете программой АРМ «Акустика» определяется прямым звуком от ближайшей дороги, а в программе «Эколог-Шум», получается превышение вклада отраженного звука над прямым звуком больше, чем на 10 дБ в октавных полосах частот, что не соответствует физической картине процесса распространения и отражения звука в данной точке [126].

Разница результатов расчета уровня звука программой АРМ «Акустика» с измеренными значениями в точках, расположенных около автодорог примерно 2 дБА. Уровни звука, рассчитанные программой «Predictor» в среднем ниже на 4,6 дБА результатов расчета других программных комплексов и натуральных измерений. В программах «Predictor» и АРМ «Акустика» на результат влияет изменение показателя грунта, наиболее приближенные к измеренным величинам значения уровней звука рассчитывает программа «Predictor». В программном комплексе «Эколог-Шум» не представляется возможным варьировать акустические параметры грунта [126].

С практической точки зрения, важным является адекватность расчетных моделей внутри территории застройки. Исследования показали, что наименьшее расхождение результатов расчета получены при использовании программ АРМ «Акустика» и «Predictor», которое составляет 2,9 дБА [126].

3.2 Расчетная модель

Основываясь на результатах сравнения различных программных продуктов (п.3.1), для моделирования распространения звука на исследуемой территории использовалось отечественное программное обеспечение АРМ «Акустика».

Расчетная модель построена на основе **следующих нормативных и методических документов:**

- СП 51.13330.2011 «Защита от шума». Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [101];
- ГОСТ 31295.1-2005 «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой» [37];
- ГОСТ 31295.2-2005 «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета» [38.]

При создании расчетной модели были приняты следующие допущения:

1. Для описания процесса излучения звука рассматриваемыми источниками использованы упрощенные модели.
2. В расчетных моделях все источники принимаются точечными.
3. При наличии протяженных источников шума они представляются совокупностью единичных источников шума.

Снижение УЗД по мере удаления от точечного источника показано на рисунке 3.1.

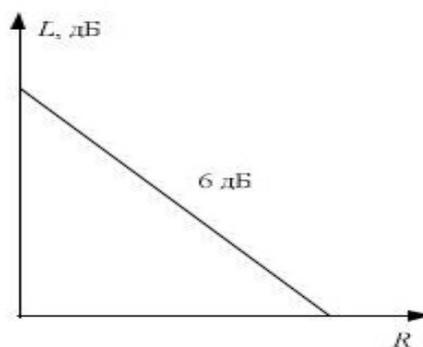


Рисунок 3.1 – Зависимость УЗД от расстояния до источника шума (для точечного источника составляет 6дБ на октаву) [65].

В свободном пространстве звуковые волны распространяются от источника звука с одинаковой скоростью во все стороны. При этом фронт волны увеличивается, а звуковая энергия рассеивается за счет распределения ее на все увеличивающейся поверхности. Этим объясняется одна из причин ослабления шума в воздухе с удалением от источника его образования. Сила звука в таком

случае убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. Вместе с тем, в процессе распространения звуковых волн их энергия рассеивается и теряется на преодоление внутреннего трения в среде (молекулярное поглощение и т. п.). Потери звуковой энергии возрастают с увеличением частоты. Такое затухание из-за расхождения энергии в свободном пространстве называется геометрической дивергенцией, происходит в результате сферического распространения звука в свободном звуковом поле [65, 120].

При распространении звука от различных источников звуковые волны могут взаимодействовать. Интерференция волн – это сложение в пространстве двух (или нескольких) волн, при котором в разных точках пространства происходит усиление или ослабление амплитуды результирующей волны [65].

При наличии препятствий на пути распространения волны происходит огибание волной препятствия – дифракция. Согласно принципу Гюйгенса каждую точку среды, в которую проникла звуковая волна, можно считать источником вторичных волн. Поэтому на краю огибаемого звуком тела образуется вторичный источник, от которого распространяется звуковая волна, проникая за препятствие, за которым образуется звуковая тень (рис. 3.2) [65].

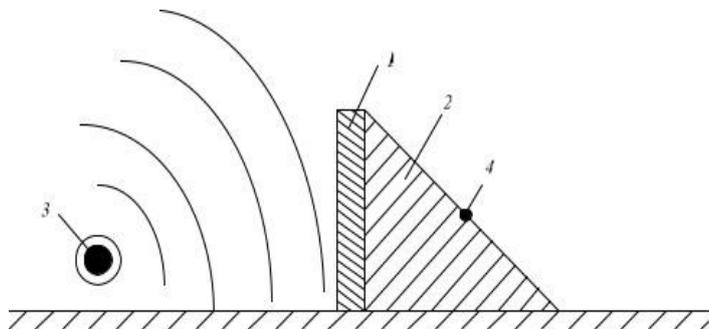


Рисунок 3.2 – Схема образования звуковой тени за препятствием:

1 – препятствие; 2 – звуковая тень; 3 – источник звука;

4 – точка наблюдения [65]

Вследствие дифракции звук может огибать встречные препятствия, попадать в область тени, концентрироваться на отверстиях и т. п. Размер зоны тени зависит от соотношения длины звуковой волны и размеров препятствия: чем больше длина волны, тем меньше область тени за препятствием [65].

В расчетной модели используются следующие основные формулы.

Эквивалентный октавный уровень звукового давления с подветренной стороны $L_{fi}(DW)$ на приемнике рассчитывают для каждого точечного источника и мнимого источника для октавных полос со среднегеометрической частотой от 63 до 8000 Гц по формуле (3.4):

$$L_{fi}(DW) = L_W + D_C - A \quad (3.4)$$

где L_W - октавный уровень звуковой мощности точечного источника шума относительно опорного значения звуковой мощности, равного 1 пВт (10^{-12} Вт), дБ;

D_C - поправка, учитывающая направленность точечного источника шума и показывающая, насколько отличается эквивалентный уровень звукового давления точечного источника шума в заданном направлении от уровня звукового давления ненаправленного точечного источника шума с тем же уровнем звуковой мощности L_W , дБ, определяется по [37, 132].

A - затухание в октавной полосе частот при распространении звука от точечного источника шума к приемнику, дБ.

Затухание A в формуле (3.4) рассчитывают по формуле (3.5)

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad (3.5)$$

где A_{div} - затухание из-за геометрической дивергенции (из-за расхождения энергии при излучении в свободное пространство);

A_{atm} - затухание из-за звукопоглощения атмосферой;

A_{gr} - затухание из-за влияния земли;

A_{bar} - затухание из-за экранирования;

A_{misc} - затухание из-за влияния прочих эффектов.

Эквивалентный уровень звука с подветренной стороны $L_{AT}(DW)$ определяют суммированием эквивалентных откорректированных по A октавных уровней звукового давления, рассчитанных по формулам (3.4) и (3.5) для каждого точечного источника и мнимого источника. Его рассчитывают по формуле (3.6):

$$L_{AT}(DW) = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{\infty} 10^{0.1[L_{fi}(ij) + A_f(j)]} \right] \right\} \quad (3.6)$$

Где n - число источников шума и траекторий распространения звука, влияние которых учитывают;

i – номер источника или траектории распространения звука;

j – номер октавной полосы со среднегеометрической частотой от 63 до 8000

Гц;

A_f – относительная частотная характеристика А шумомера.

Усредненный уровень звука $L_{AT}(LT)$, дБА, рассчитывают по формуле

$$L_{AT}(LT) = L_{AT}(DW) - C_{met} \quad (3.7)$$

Где C_{met} – поправка на метеорологические условия.

В расчетной модели расчет затухания (формула (3.5)) производится для следующих случаев:

1. Затухание из-за геометрической дивергенции A_{div}

Затухание в свободном пространстве из-за расхождения звуковой энергии A_{div} , дБ, рассчитывают по формуле (3.8):

$$A_{div} = 20 \lg(d / d_0) + 11 \quad (3.8)$$

где d – расстояние от источника шума до приемника, м;

d_0 – опорное расстояние ($d_0 = 1$ м).

2. Затухание из-за звукопоглощения атмосферой A_{atm}

Затухание из-за звукопоглощения атмосферой A_{atm} , дБ, на расстоянии d , м, от источника шума определяется по формуле (3.9):

$$A_{atm} = \alpha d / 1000 \quad (3.9)$$

где α - коэффициент затухания звука в октавной полосе частот в атмосфере.

В таблице 3.1 даны значения данного коэффициента в октавных полосах частот. При расчете коэффициент затухания α в атмосфере усредняют по погодным условиям данной местности.

Таблица 3.1 - Значения коэффициента α [37, 132]

Температура, °С	Относительная влажность, %	Коэффициент затухания звука в атмосфере α дБ/км, в октавных полосах со среднегеометрической частотой, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3

15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	702
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

3. Затухание из-за влияния земли A_{gr}

Влияние поверхности земли на затухание звуковых волн A_{gr} происходит в результате интерференции. Звуковые волны, отраженные поверхностью земли, интерферируют с волнами прямого звука от источника шума к приемнику. В основном это характерно для территории вблизи источника шума и приемника. Метод расчета затухания из-за влияния земли применим только в случае практически плоской поверхности земли вне зависимости от того, горизонтальная она или наклонная. При этом различают (рис. 3.3) три основные зоны (области):



Рисунок 3.3 – Зоны при определении затухания из-за влияния земли [132]

Расчет величины d_p производится с учетом рельефа поверхности земли.

В большой степени затухание из-за влияния земли зависит от характеристик поверхности земли в зонах источника и приемника, и не зависит от длины средней зоны.

Акустические характеристики поверхности земли в этих трех зонах учитываются коэффициентом отражения от поверхности земли G . Выделяют следующие типы поверхностей:

- твердая поверхность ($G=0$) - это асфальт, мощеная, залитая водой, покрытая льдом, бетонированная и прочие поверхности с низкой пористостью;

- пористая поверхность ($G=1$) – это голая или покрытая растительностью земля, земли сельскохозяйственного назначения.

- смешанная поверхность. ($0 < G < 1$) - когда поверхность имеет твердые и пористые участки.

Для определения затухания из-за влияния земли в заданной октавной полосе частот рассчитывают: затухание A_s в зоне источника при заданном показателе поверхности земли G_s ; затухание A_r в зоне приемника с показателем поверхности G_r ; затухание A_m в средней зоне с показателем поверхности G_m - по формулам таблицы 3.2. Общее затухание из-за влияния земли в заданной октавной полосе частот определяют по формуле (3.10)

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad (3.10)$$

Таблица 3.2 - Формулы для расчета составляющих A_s , A_r , A_m и затухания A_{gr} из-за влияния земли в октавных полосах частот [37, 132]

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	A_s или A_r *, дБ	A_m , дБ
63	-1,5	-3q**
125	$-1,5 + G \times a'(h)$	-3q(1-G _m)
250	$-1,5 + G \times b'(h)$	
500	$-1,5 + G \times c'(h)$	
1000	$-1,5 + G \times d'(h)$	
2000	$-1,5(1 - G)$	
4000	$-1,5(1 - G)$	
8000	$-1,5(1 - G)$	

* Для расчета A_s принимают $G = G_s$ и $h = h_s$. Для расчета A_r принимают $G = G_r$ и $h = h_r$.
 ** $q = 0$, если $d_p \leq (30h_s + 30h_r)$; $q = 1 - 30(h_s + h_r)/d_p$, если $d_p > (30h_s + 30h_r)$
 $a'(h) = 1,5 + 3,0 \cdot e^{-0,12 \cdot (h-5)^2} (1 - e^{-d/50}) + 5,7 \cdot e^{-0,09 \cdot h^2} (1 - e^{-2,8 \cdot 10^{-6} \cdot d_0})$;
 $b'(h) = 1,5 + 8,6 \cdot e^{-0,09 \cdot h^2} (1 - e^{-d/50})$;
 $c'(h) = 1,5 + 14,0 \cdot e^{-0,46 \cdot h^2} (1 - e^{-d/50})$;
 $d'(h) = 1,5 + 5,0 \cdot e^{-0,9 \cdot h^2} (1 - e^{-d/50})$.

1. Затухание из-за барьеров (экранов) A_{bar}

В расчетной модели барьером или экранирующим препятствием будет приниматься объект, если:

- его поверхностная плотность не менее 10 кг/м ;
- поверхность его сплошная (без больших разрывов или просветов);

- горизонтальный размер в направлении, перпендикулярном к линии, соединяющей источник и приемник, более длины звуковой волны λ с частотой, равной среднегеометрической частоте октавной полосы, т.е. $l_s + l_r > \lambda$ (рис. 3.4).

Также принимается, что боковые кромки барьера (экрана) вертикальны. Верхняя кромка барьера (экрана) является прямой линией, которая может быть наклонной.

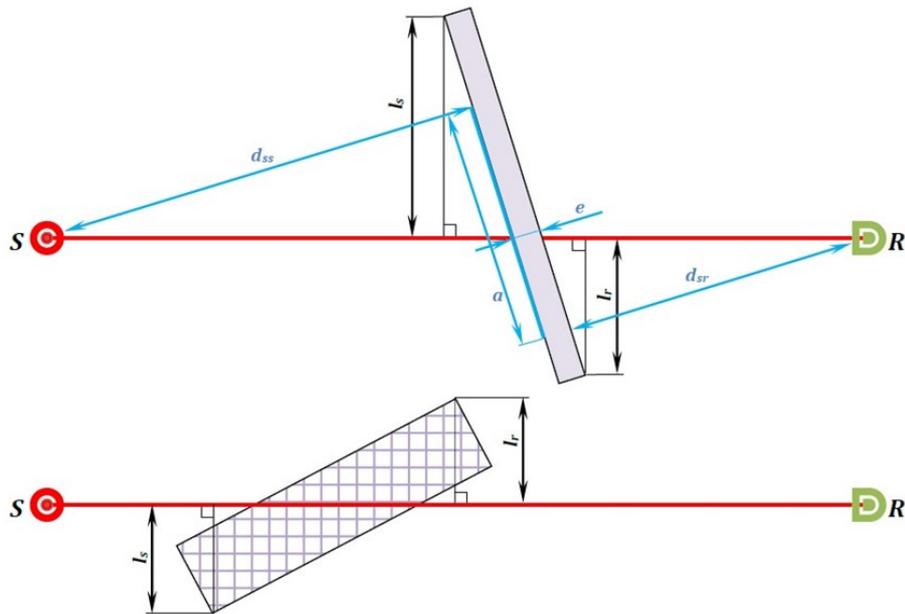


Рисунок 3.4 - Вид сверху на два барьера (экрана) между источником шума S и приемником R [132]

Затухание из-за экранирования A_{bar} считают вносимыми потерями. При распространении звука по ветру затухание с учетом дифракции на верхней кромке (рис. 3.5) рассчитывают по формуле (3.11):

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0 \quad (3.11)$$

где D_z - затухание на барьере для каждой октавной полосы частот, рассчитываемое по формуле (3.13);

A_{gr} - затухание из-за влияния земли при отсутствии барьера (рассчитывается по формуле (3.10)).

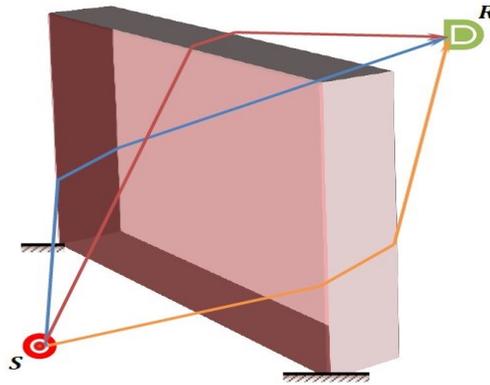


Рисунок 3.5 - Различные пути распространения звука вокруг экранирующего препятствия [132]

Затухание с учетом дифракции на вертикальных кромках рассчитывают по формуле (3.12):

$$A_{\text{bar}} = D_z > 0 \quad (3.12)$$

Если A_{bar} , определенное по формуле (3.11), подставляют в формулу (3.5) для определения общего затухания A , то члены A_{gr} взаимно уничтожаются. Затухание на барьере D_z в формуле (3.11) включает в себя затухание из-за влияния земли при наличии экранирующего препятствия.

При расчете затухания на барьере (экране) D_z предполагают, что имеется один основной путь распространения звука от источника шума к приемнику. Если данное предположение недействительно, то следует выполнить расчет для разных путей распространения звука, показанных на рисунке 3.5. В результате необходимо энергетически суммировать вклады от всех путей распространения звука. Затухание на экранирующем препятствии D_z , дБ, для данного пути рассчитывают по формуле (3.13):

$$D_z = 10 \lg [3 + (C_2 / \lambda) C_3 z K_{\text{мет}}] \quad (3.13)$$

где C_2 - константа, учитывающая эффект отражения от земли ($C_2 = 20$). Если в особых случаях (твердый грунт, скальные породы и т.п.) во внимание принимают отражение от земли звука мнимых источников, то $C_2 = 40$;

C_3 - константа, учитывающая дифракцию на верхних кромках. При дифракции на одной кромке (рисунок 3.6) $C_3 = 1$. При дифракции на двух кромках (рис. 3.7) константу рассчитывают по формуле (3.14);

z - разность длин путей распространения звука через дифракционную кромку (кромки) и прямого звука, рассчитанных по формулам (3.15) и (3.16), м;

K_{met} - коэффициент, учитывающий влияние метеорологических условий, определяемый по формуле (3.17).

$$C_3 = [1 + (5 \cdot \lambda / e)^2] / [1/3 + (5 \cdot \lambda / e)^2] \quad (3.14)$$

где λ - длина звуковой волны с частотой, равной среднегеометрической частоте октавной полосы, м;

e - расстояние между дифракционными кромками (рис. 3.4, 3.7).

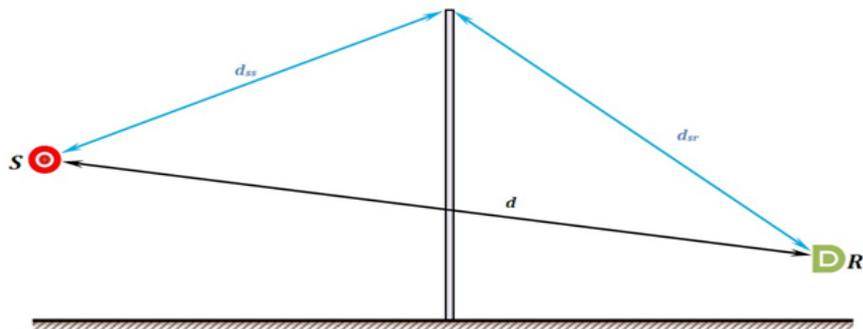


Рисунок 3.6 - Геометрические величины для определения разности длин путей распространения звука при дифракции на одной кромке [132]

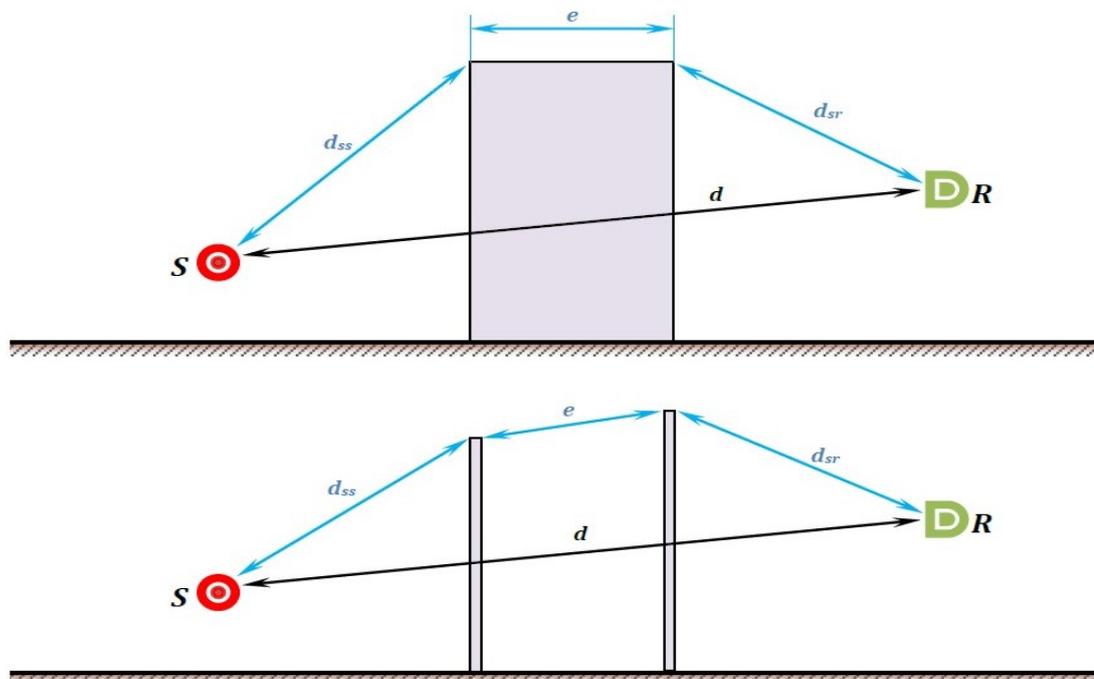


Рисунок 3.7 - Геометрические величины для определения разности длин путей распространения звука при дифракции на двух кромках [132]

При дифракции на одной кромке (рис. 3.6) разность длин путей распространения звука z , м, рассчитывают по формуле (3.15):

$$z = [(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2]^{1/2} - d \quad (3.15)$$

где d_{ss} - расстояние от источника шума до дифракционной кромки (до первой дифракционной кромки в случае дифракции на двух кромках), м;

d_{sr} - расстояние от дифракционной кромки (от второй дифракционной кромки в случае дифракции на двух кромках) до приемника, м;

a - проекция на кромку барьера траектории распространения звука от источника к приемнику через верхнюю кромку барьера, м.

Расстояния d_{ss} и d_{sr} измеряют, соответственно, по перпендикулярам, опущенным из источника шума и приемника на верхнюю кромку барьера (экрана). Значение a равно расстоянию между основаниями этих перпендикуляров вдоль верхней кромки. На рисунках 3.6 и 3.7 показаны фронтальные проекции этих расстояний и расстояния d . Расстояние a не видно, так как фронтальная проекция его представляет собой точку. Расстояние a можно увидеть на рисунке 3.4.

Если линия, соединяющая источник шума S и приемник R , проходит над верхней кромкой барьера, то значению z приписывают знак минус.

При дифракции на двух кромках (рис. 3.7) разность длин путей z рассчитывают по формуле (3.16):

$$z = [(d_{ss} + d_{sr} + e)^2 + a^2]^{1/2} - d \quad (3.16)$$

Коэффициент K_{met} в формуле (10) рассчитывают по формулам (3.17, 3.18):

$$K_{met} = \exp\{-(1/2000) \cdot [d_{ss} d_{sr} d / (2 \cdot z)]^{1/2}\} \text{ для } z > 0 \quad (3.17)$$

$$K_{met} = 1 \text{ для } z \leq 0 \quad (3.18)$$

При дифракции на боковых кромках экранирующего препятствия (рис. 3.5) принимают $K_{met} = 1$.

Затухание на барьере D_z в любой октавной полосе частот не следует принимать более 20 дБ в случае дифракции на одной кромке (тонкие барьеры) и 25 дБ в случае дифракции на двух кромках (толстые барьеры).

Затухание при наличии двух барьеров рассчитывают по формуле (3.13) как для дифракции на двух кромках в соответствии с нижним чертежом рисунка 3.7. Затухание при наличии более чем двух барьеров может быть приблизительно рассчитано также по формуле (3.13), если выбрать два наиболее эффективных барьеров и пренебречь влиянием остальных.

В расчетную модель могут вводиться (в формулу (3.5)) дополнительные члены A_{misc} , характеризующие затухание вследствие различных дополнительных эффектов затухания при распространении звука.

Дополнительное затухание будет определяться по формуле (3.19):

$$A_{misc} = A_{fol} + A_{site} + A_{hous} \quad (3.19)$$

где A_{fol} – затухание при распространении звука через листву;

A_{site} – затухание при распространении звука в промышленных зонах;

A_{hous} – затухание при распространении звука в жилых массивах.

Для расчета затухания вследствие дополнительных эффектов криволинейную траекторию распространения звука по ветру аппроксимируют дугой окружности с радиусом 5000 м (рис. 3.8).

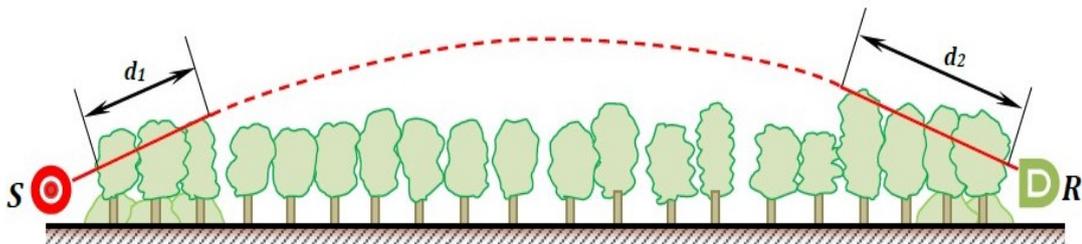


Рисунок 3.8 - Затухание при распространении звука через листву [132]

Листва деревьев и кустарников влияет на затухание мало и только в случае, когда она плотная (не имеет просветов). Затухание может происходить вблизи источника шума или приемника, или в обоих случаях. Траектория звука может быть представлена прямыми линиями на участках d_1 и d_2 , наклоненными к земле под углом 15° .

Длина траектории звука через листву равна $d_f = d_1 + d_2$.

Таблица 3.3 - Затухание в октавных полосах при распространении звука через плотную листву [37, 132]

Длина траектории распространения звука $df, м$	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$10 \leq d_f \leq 20$	Затухание, дБ							
	0	0	1	1	1	1	2	30
$20 \leq d_f \leq 200$	Затухание, дБ/м							
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

В промышленных зонах затухание возникает вследствие рассеяния звука оборудованием (трубами, клапанами, элементами конструкций и другими объектами). Оно может быть учтено величиной A_{site} , если не включено в затухание на экранирующем препятствии A_{bar} или не указано в требованиях к шуму источника.

Величина A_{site} сильно зависит от типа зоны, поэтому рекомендуется ее определять измерениями. Однако для оценки данного затухания может быть использована таблица 3.4.

Таблица 3.4 - Коэффициент затухания в октавных полосах частот при распространении звука в промышленных зонах [37, 132]

Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц	$A_{site}, дБ/м$
31,5	0
63	0
125	0,015
250	0,025
500	0,025
1000	0,02
2000	0,02
4000	0,015
8000	0,015

Затухание пропорционально длине криволинейной траектории (рисунок 3.9) и максимально равно 10 дБ.

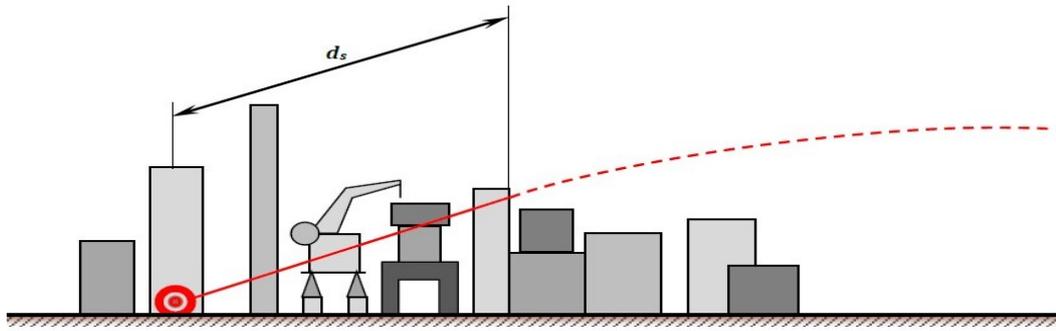


Рисунок 3.9 - Затухание при распространении звука в промышленной зоне с оборудованием [132]

Когда источник шума или приемник, или оба они расположены в жилом массиве, то возникает затухание из-за экранирования домами. Однако данный эффект может быть снижен за счет прохождения звука между домами и отражений его от других домов. Поскольку значение величины A_{hous} сильно зависит от ситуации, правильность расчета следует проверять практическими измерениями.

Приблизительное затухание уровня звука A_{hous} , которое не должно превышать 10 дБ, может быть оценено по формуле (3.20):

$$A_{hous} = A_{hous,1} + A_{hous,2} \quad (3.20)$$

Среднее значение величины $A_{hous,1}$ может быть рассчитано по формуле (3.21)

$$A_{hous,1} = 0,1 V \cdot d_b \quad (3.21)$$

где V - плотность застройки вдоль траектории распространения звука, равная отношению площади участков под домами к общей площади жилого массива, включая площадь участков под домами;

d_b - длина траектории звука через просветы между домами, определенная аналогично рисунку 3.8, м.

Длина траектории d_b может включать в себя участок d_1 вблизи источника шума и d_2 вблизи приемника, как показано на рисунке 3.8.

Для жилых массивов величина $A_{hous,1}$, рассчитанная по формуле (3.20), и затухание из-за влияния земли A_{gr} , рассчитанное по формуле (3.10), связаны следующим образом.

Пусть $A_{gr,b}$ - затухание из-за влияния земли в жилом массиве, а $A_{gr,0}$ - затухание из-за влияния земли при отсутствии домов, т.е. рассчитанное по формуле (3.10). При распространении звука в жилом массиве в общем случае в формуле (3.5) принимают $A_{gr,b} = 0$. Однако если $A_{gr,0}$ превышает A_{hous} , то затуханием A_{hous} пренебрегают, а в формулу (3.5) подставляют только $A_{gr,0}$.

Вышеописанная связь имеет различное значение в зависимости от плотности застройки B : для застройки с низкой плотностью доминирует затухание A_{gr} , с высокой плотностью - A_{hous} .

Звукоотражение моделируется введением мнимый источника (зеркальное изображение источника шума). Оно имеет место при отражении звука от установленных под открытым небом навесов и от более или менее вертикальных поверхностей (например, отражение звука от фасадов зданий), что может быть причиной повышения уровней звукового давления на приемнике. Эффект отражения звука от земли в данном случае не рассматривается, так как он уже учтен при расчете A_{gr} .

Отражение звука от экрана рассчитывается для всех октавных полос частот, для которых выполнены следующие условия:

- зеркальное изображение источника построено как показано на рисунке 8;
- коэффициент звукоотражения от экрана более 0,2;
- звукоотражающая поверхность достаточно велика, чтобы для длины звуковой волны, соответствующей среднегеометрической частоте октавной полосы, было соблюдено соотношение (3.22).

Если хотя бы одно из данных условий не соблюдается для определенной октавной полосы частот, то звукоотражением в ней пренебрегают.

$$1/\lambda > [2/(l_{\min} \cdot \cos \beta)^2] \cdot [d_{s,o} \cdot d_{o,r} / (d_{s,o} + d_{o,r})] \quad (3.22)$$

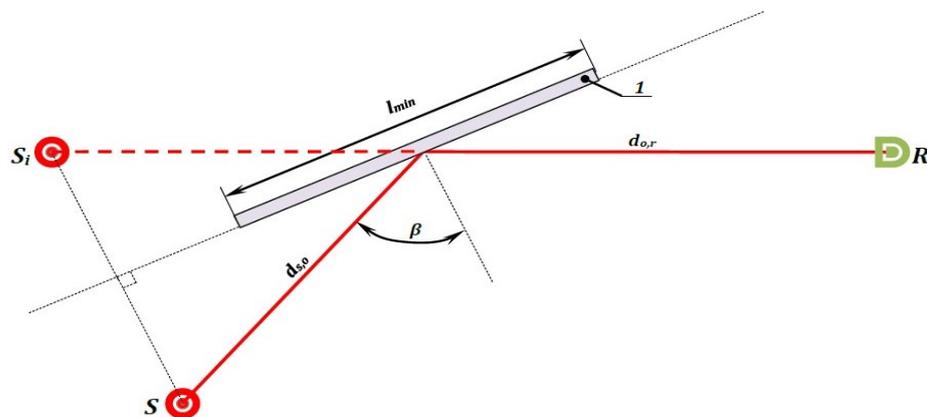
где λ - длина звуковой волны с частотой, равной среднегеометрической частоте f , Гц, октавной полосы $\lambda = 340 / f$, м;

$d_{s,o}$ - расстояние между точечным источником шума и точкой отражения на экране, м;

$d_{o,r}$ - расстояние между точкой отражения на экране и приемником, м;

β - угол падения звуковой волны (рис. 3.10), рад;

l_{min} - минимальный размер (длина или высота) звукоотражающей плоскости (рис. 3.10), м.



1 - экран; S - точечный источник шума; R - приемник; S_i - мнимый источник шума

Рисунок 3.10 - Зеркальное звукоотражение от экрана [132]

Траектория распространения звука от источника шума S к приемнику R длиной $d_{s,o} + d_{o,r}$ имеет угол падения звуковой волны на экран β , равный углу отражения. Отраженный звук может быть представлен исходящим из мнимого источника шума S_i .

Реальный и мнимый источники рассматривают отдельно. Уровень звуковой мощности мнимого источника, дБ, рассчитывают по формуле

$$L_{W,im} = L_W + 10 \cdot \lg(p) + D_{Ir} \quad (3.23)$$

где p - коэффициент звукоотражения от поверхности экрана при угле падения звуковой волны β ($p \leq 0,2$);

D_{Ir} - показатель направленности мнимого точечного источника шума в направлении на приемник.

Для мнимого источника составляющие затухания в формуле (3.5) и величины p и D_{Ir} в формуле (3.22) должны быть определены для пути распространения отраженного звука [36, 37, 87, 132].

3.3 Исходные данные для моделирования акустического поля

Исходными данными для построения акустической модели являются: рельеф, группы объектов окружающей среды: строения, дорожное полотно, экраны и лесонасаждения их характеристики, источники шума и их характеристики.

В качестве основы для построения карты шума использовалась цифровая модель местности – топооснова. На ней отражается следующая информация: отметки высот и контуры высот, функциональное назначение территории, функциональное назначение и высоты зданий, области затухания (наличие и параметры отражающих и экранирующих звук препятствий, и т. п.). Для разработки рельефа (топоосновы) территории энергетического предприятия и прилегающей к нему жилой зоны в программу АРМ «Акустика» были импортированы планы территории и информации об отметках высот в формате *.dxf. На модель рельефа были нанесены жилые здания селитебной зоны, территория и здание энергообъекта. Внутри здания смоделированы все имеющиеся производственные участки. На границе предприятия смоделирован забор [27].

Жилой массив представлен одно- и двухэтажными домами с приусадебными участками [27].

Территория исследования включает асфальтированные и грунтовые участки в соотношении ~50%, для учета затухания звука из-за влияния земли параметр G принят равным 0,5.

Внутри производственных участков предприятия были смоделированы основные источники шума: два водогрейных котла типа КВГМ-180-50-2, два сетевых насоса СЭ-2500-180 с электродвигателями 4АЗМ-1600/6000 УХЛ4. два дутьевых вентилятора ВДН-26-11-У с электроприводами ДАЗО-217-44-8/1СУ1, два дымососа ДН 24х0,62 ГМ с электроприводами ДАЗО-217-44-8/ЮУ1, два дымососа рециркуляции ВГДН-21 с электроприводами ДАЗО -4.400У-6У1, газовый регулятор РДУК2В-200-140, газопровод. Шумовые характеристики всех источников шума определялись экспериментально и в программу заложены данные натурных измерений (глава 2, таблица 2.1) [21, 27, 28].

Снижение уровня шума лесонасаждениями не учитывалось, на территории исследования деревья единичны, сплошные насаждения отсутствуют.

В качестве контрольных было выбрано пять точек вблизи предприятия в районе первого ряда домов в санитарно-защитной зоне и четыре точки на ее границе на расстоянии 300 м от забора энергообъекта (рис.3.11).

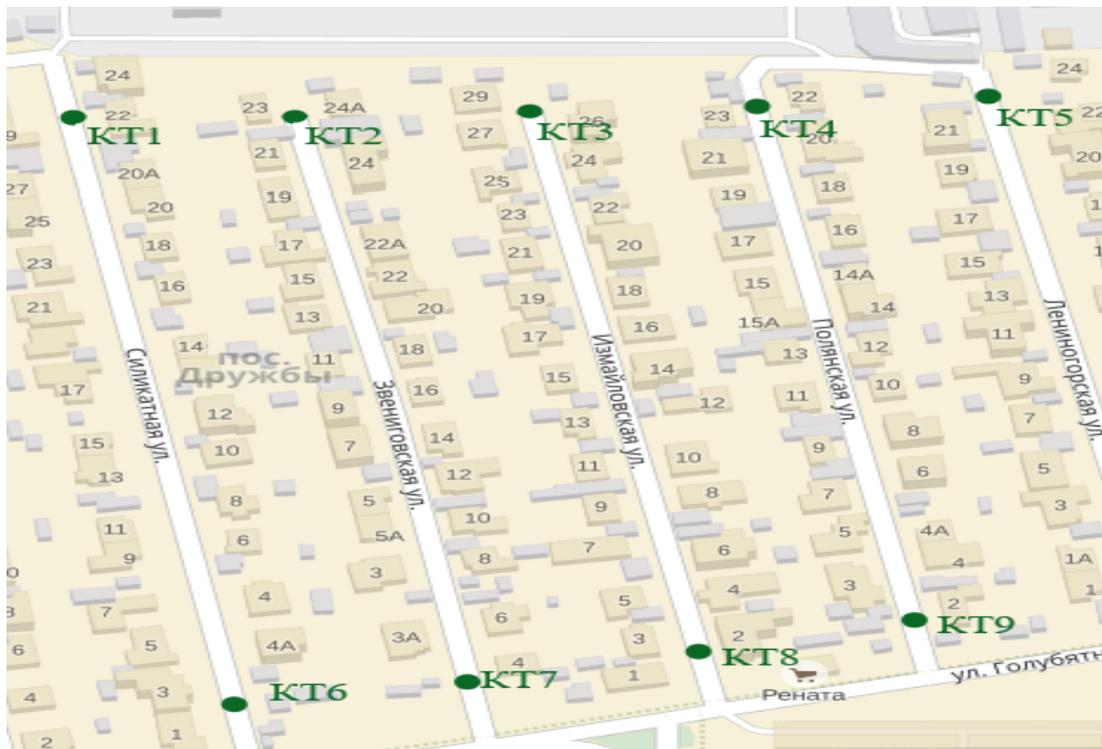


Рисунок 3.11 – Расположение контрольных точек в жилой зоне

3.4 Расчет параметров акустического поля и создание шумовой карты района исследования

Для всех контрольных точек, расположенных на территории жилого массива, расчёт уровней звукового давления произведен в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Октавные уровни звукового давления суммарного шума при действии нескольких источников шума определены посредством энергетического

суммирования октавных уровней, создаваемых в контрольной точке каждым источником шума.

Последовательность расчёта воздействия источников шума в контрольных точках была следующей:

- 1) Выявлены источники шума и определены их шумовые характеристики.
- 2) Контрольные точки на территории выбраны на расстоянии 2 м от фасадов зданий, обращенных в сторону источника внешнего шума, и на высоте 1,5 м над поверхностью земли (для одно- и двухэтажных зданий) [101].
- 3) Вычислены октавные уровни звуковой мощности (УЗМ) всех источников шума.
- 4) Линейный источник (газопровод) был аппроксимирован серией точечных источников.
- 5) Для каждого точечного источника были вычислены траектории прохождения дифракционных лучей вокруг препятствий в случаях, когда линии видимости от источника к контрольным точкам были перекрыты различными объектами.
- 6) По формулам (п 3.2) определены составляющие снижения уровня шума при прохождении на местности за счёт дивергенции, дифракции вокруг препятствий, поглощения земной поверхностью и атмосферным воздухом. Вычислены октавные УЗД источников в контрольных точках.
- 7) Определены мнимые источники и для каждого из них определены его октавные УЗМ.
- 8) Энергетическим суммированием вычислены октавные УЗД каждого точечного источника и комбинации его мнимых источников как общий уровень звукового воздействия источника.
- 9) Для вычисления октавных УЗД общего воздействия газопровода как линейного источника проведено энергетическое суммирование частных УЗД серии точечных источников (п.4).
- 10) Определены суммарные октавные УЗД, эквивалентный и максимальный уровни звука от всех источников в контрольных точках [86].

Результаты произведенных расчетов для выбранных точек приведены в таблицах 3.5 и 3.6. Также в таблицах указано превышение расчетного уровня звукового давления по октавным полосам и превышение эквивалентного и максимального уровня звука от предельного допустимого уровня.

Таблица 3.5 - Результаты расчетов акустической обстановки днем при работе всех источников шума [31]

Место измерения (контрольная точка)	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								L экв, дБА	L макс, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
КТ1	66,5	60,6	57,5	64,8	55,8	50,4	43,5	32,6	63,2	63,2
	превышение	-	-	3,5	15,8	10,8	8,4	3,5	-	13,2
КТ2	66,1	60,2	60,1	64,7	63,4	60,4	57,3	44,6	67,7	67,7
	превышение	-	-	6,1	15,7	18,4	18,4	17,3	5,6	17,7
КТ3	68,3	57,8	56,9	53,9	55,1	56,0	47,4	32,8	60,6	60,6
	превышение	-	-	2,9	4,9	10,1	14,0	7,4	-	10,6
КТ4	66,9	56,8	56,6	57,8	58,8	56,4	48,0	32,2	62,5	62,5
	превышение	-	-	2,6	8,8	13,8	14,4	8,0	-	12,5
КТ5	59,3	52,7	55,2	55,2	53,3	46,7	38,3	22,3	57,0	57,0
	превышение	-	-	1,2	6,2	8,3	4,7	-	-	7,0
КТ6	54,5	46,0	45,7	48,1	40,7	36,5	26,4	0	47,5	47,5
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
КТ7	53,2	45,7	47,4	48,3	43,6	39,6	30,2	0	48,9	48,9
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
КТ8	56,2	46,1	46,9	47,9	44,2	40,6	31,5	1,6	49,1	49,1
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
КТ9	56,8	45,6	44,8	47,4	48,3	44,1	32,9	1,6	51,3	51,3
	превышение	-	-	-	-	3,2	2,1	-	-	1,3

Таблица 3.6 - Результаты расчетов акустической обстановки ночью при работе всех источников шума [31]

Место измерения (контрольная точка)	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								L экв, дБА	L макс, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
КТ1 превышение	66,5	60,6	57,5	64,8	55,8	50,4	43,5	32,6	63,2	63,2
	4,5	8,6	13,5	25,8	20,8	18,4	13,5	4,6	23,2	3,2
КТ2 превышение	66,1	60,2	60,1	64,7	63,4	60,4	57,3	44,6	67,7	67,7
	4,1	8,2	16,1	25,7	28,4	28,4	27,3	16,6	27,7	7,7
КТ3 превышение	68,3	57,8	56,9	53,9	55,1	56,0	47,4	32,8	60,6	60,6
	6,3	5,8	12,9	14,9	20,1	24,0	17,4	4,8	20,6	0,6
КТ4 превышение	66,9	56,8	56,6	57,8	58,8	56,4	48,0	32,2	62,5	62,5
	4,9	4,8	12,6	18,8	23,8	24,4	18,0	4,2	22,5	2,5
КТ5 превышение	59,3	52,7	55,2	55,2	53,3	46,7	38,3	22,3	57,0	57,0
	-	0,7	11,2	16,2	18,3	14,7	8,3	-	17,0	-
КТ6 превышение	54,5	46,0	45,7	48,1	40,7	36,5	26,4	0	47,5	47,5
	-	-	1,7	9,1	5,7	4,5	-	-	7,5	-
КТ7 превышение	53,2	45,7	47,4	48,3	43,6	39,6	30,2	0	48,9	48,9
	-	-	3,4	9,3	8,6	7,6	0,2	-	8,9	-
КТ8 превышение	56,2	46,1	46,9	47,9	44,2	40,6	31,5	1,6	49,1	49,1
	-	-	2,9	8,9	9,2	8,6	1,5	-	9,1	-
КТ9 превышение	56,8	45,6	44,8	47,4	48,3	44,1	32,9	1,6	51,3	51,3
	-	-	0,8	8,4	13,3	12,1	2,9	-	11,3	-

Визуализация проведенных расчетов в виде шумовой карты приведена на рисунке 3.12.

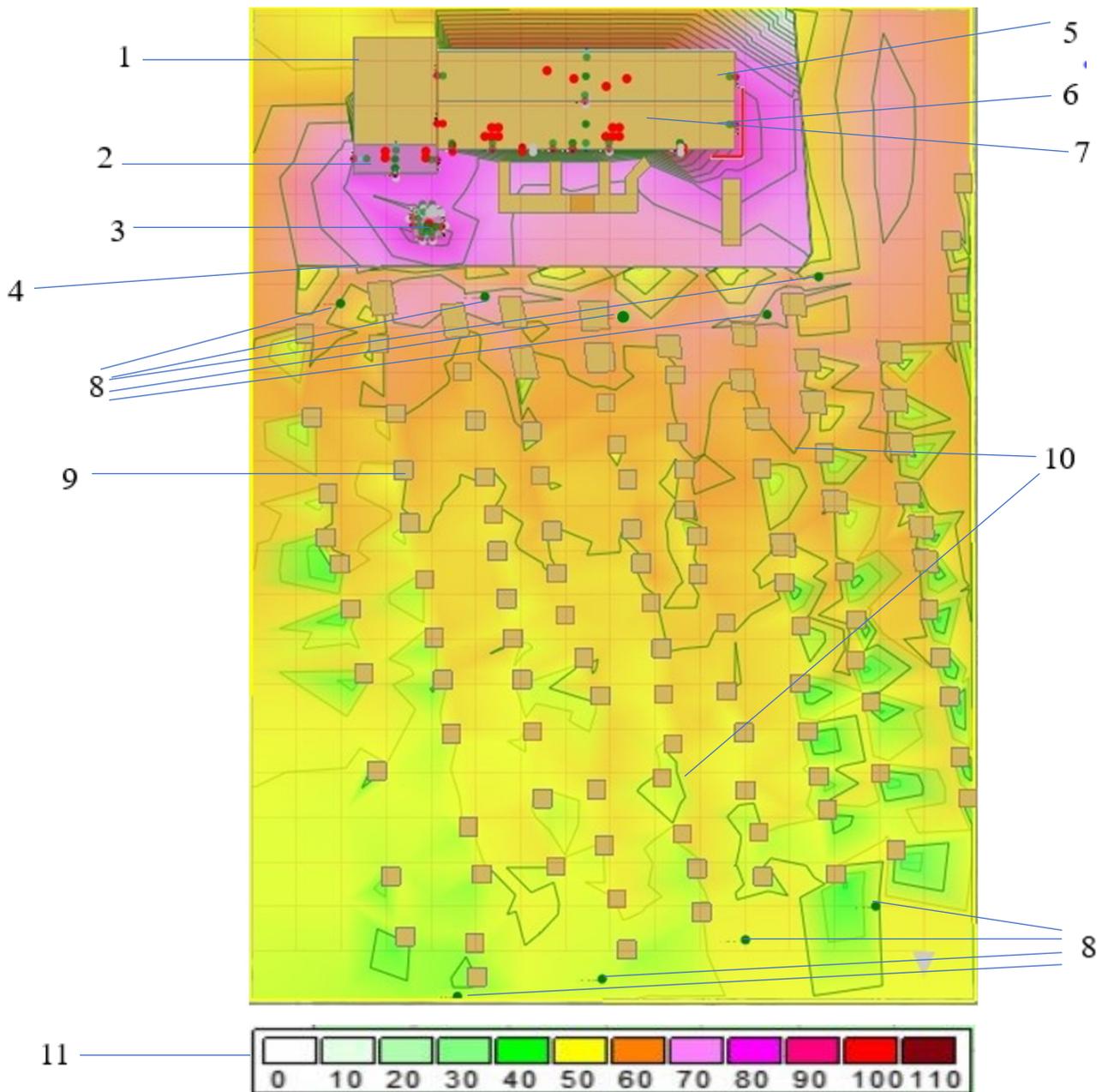


Рисунок 3.12 – Шумовая карта района исследования при работе всех источников шума

Обозначения: 1 – здание котельной, 2 – цех сетевой воды, 3 – ГРП, 4 – забор котельной, 5 – котельный цех, 6- дымососное отделение, 7 – источник шума, 8 – контрольные точки, 9 – жилые дома, 10 – изолинии уровней звука, 11 – цветное обозначение уровней звука (дБА).

3.5 Проверка адекватности экспериментально-теоретической модели шумового поля

Так как источники шума расположены в непосредственной близости к жилому массиву, а сам приемник расположен в жилом массиве, то возникает затухание из-за экранирования домами (пп 3.2). Поскольку, как было отмечено, значение величины A_{hous} сильно зависит от ситуации, правильность расчета следует проверять практическими измерениями.

Для проверки адекватности полученной модели, проведено сравнение экспериментальных замеров уровня звука во всех выбранных контрольных точках, и полученных значения приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Сравнение результатов натуральных акустических измерений и расчетных уровней звука в контрольных точках [27]

Контрольная точка	L, дБА (измерения)	L, дБА (расчет)
КТ1	65	63
КТ2	68	68
КТ3	63	61
КТ4	63	63
КТ5	59	57
КТ6	50	48
КТ7	52	49
КТ8	53	49
КТ9	49	51

Получено, что расчетный уровень шума для большинства контрольных точек отличался не более чем на ± 3 дБА от практически измеренных величин. Это дало основание прийти к выводу об адекватности разработанной экспериментально-теоретической модели шумового поля, создаваемого энергетическим оборудованием объекта [27].

Шумовая карта удобна для анализа (рис. 3.12). Она включает в себя общую информацию об источниках шума, количественные данные о превышении допустимых уровней шума на территории, о количестве жилых домов и других объектов, нормируемых по фактору шума, расположенных на территориях с повышенными уровнями шума.

Разработанная в АРМ «Акустика» экспериментально-теоретическая модель шумового поля объекта далее использовалась для оценки эффективности принимаемых технических решений по снижению шума [21, 27, 28].

3.6 Расчетное определение уровня шума в жилотной зоне, излучаемого энергетическим оборудованием районной котельной

Как уже было отмечено, воздействие предприятий энергетической отрасли промышленности на прилегающие к ним территории велико. Предприятия граничат с жилыми районами часто без организации санитарной зоны. Режим деятельности предприятий энергетики круглосуточный, чем обуславливается их негативное воздействие на окружающую среду не только в дневные часы, но и ночью.

Негативное влияние шума и вибрации на человека и окружающую среду описано в работах [16, 59, 67, 71, 130, 144, 145]. Длительный шум ослабляет функциональное состояние центральной нервной системы и снижает сопротивляемость организма, что способствует развитию тяжелых болезненных процессов, невротических состояний, гипертонической или гипотонической болезней. Уровень звукового давления 40-50 дБ даже во сне вызывает вегетативную реакцию организма. Привыкание к постоянному шуму не наблюдается, восстановление же вегетативной функции происходит очень медленно. Акустический дискомфорт отрицательно сказывается на самочувствии и работоспособности людей [30, 59, 67]

Допустимые уровни шума определяются санитарными нормами [97]. Нормы проникающего шума в жилых помещениях и шума на территории жилой застройки

установлены на уровне 55 дБА в дневное время и 45 дБА в ночное. Дополнительно для помещений и территорий, прилегающих к зданиям энергообъектов, принимается поправка -5 дБА.

Проведенный анализ акустической обстановки (Глава 2, пп.2.1.4) показал значительное превышение предельных допустимых уровней шума на прилегающей к котельной территории. Максимальные превышения составили 25-30 дБА. Наличие в спектрах акустических сигналов, записанных на территории жилой застройки «энергонесущих частот», характерных для спектров рассматриваемого (глава 2, пп.2.1.2) энергетического оборудования, сделан вывод о значительном его влиянии в формирование шумового поля селитебной зоны.

С целью оценки вклада каждого из источников шума на общую шумовую картину проводилась серия расчетных исследований при последовательном исключении источников шума. Основой для проводимых расчетов стала экспериментально-теоретическая модель шумового поля исследуемой территории (п. 3.4). Результаты таких расчетов приведены на рисунках 3.13 – 3.20.

На шумовых картах показаны цветовые поля и изолинии рассчитанных уровней звука, по изменению этих параметров можно оценивать влияние различных источников на общую шумовую обстановку территории и эффективность мероприятий по снижению шума [28].

Исключение источника шума ГРП позволило снизить уровни шума в западной ближней и центральной, а также южной ближней частях жилого массива. Это хорошо видно при сравнении модельной основы (рис.3.12) и шумовой карты на рисунке 3.13.

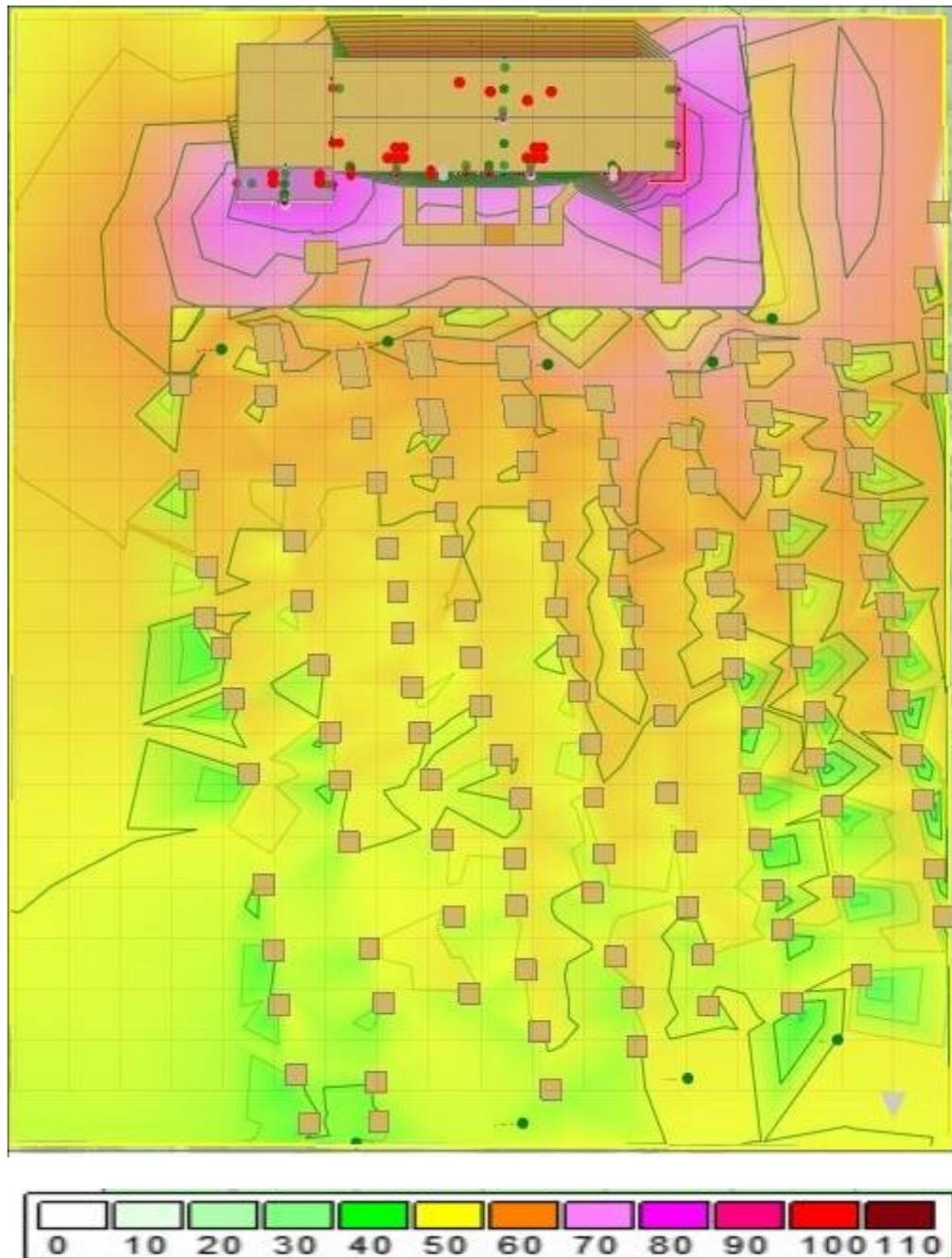


Рисунок 3.13 - Шумовая карта при исключении источника шума в ГРП

Детально исследовалось влияние насосных агрегатов, находящихся в цехе сетевой воды. В результате отключения первого сетевого насоса СЭ-2500-180 было замечено небольшое снижение уровней шума в западной и центральной части района (рис. 3.14).

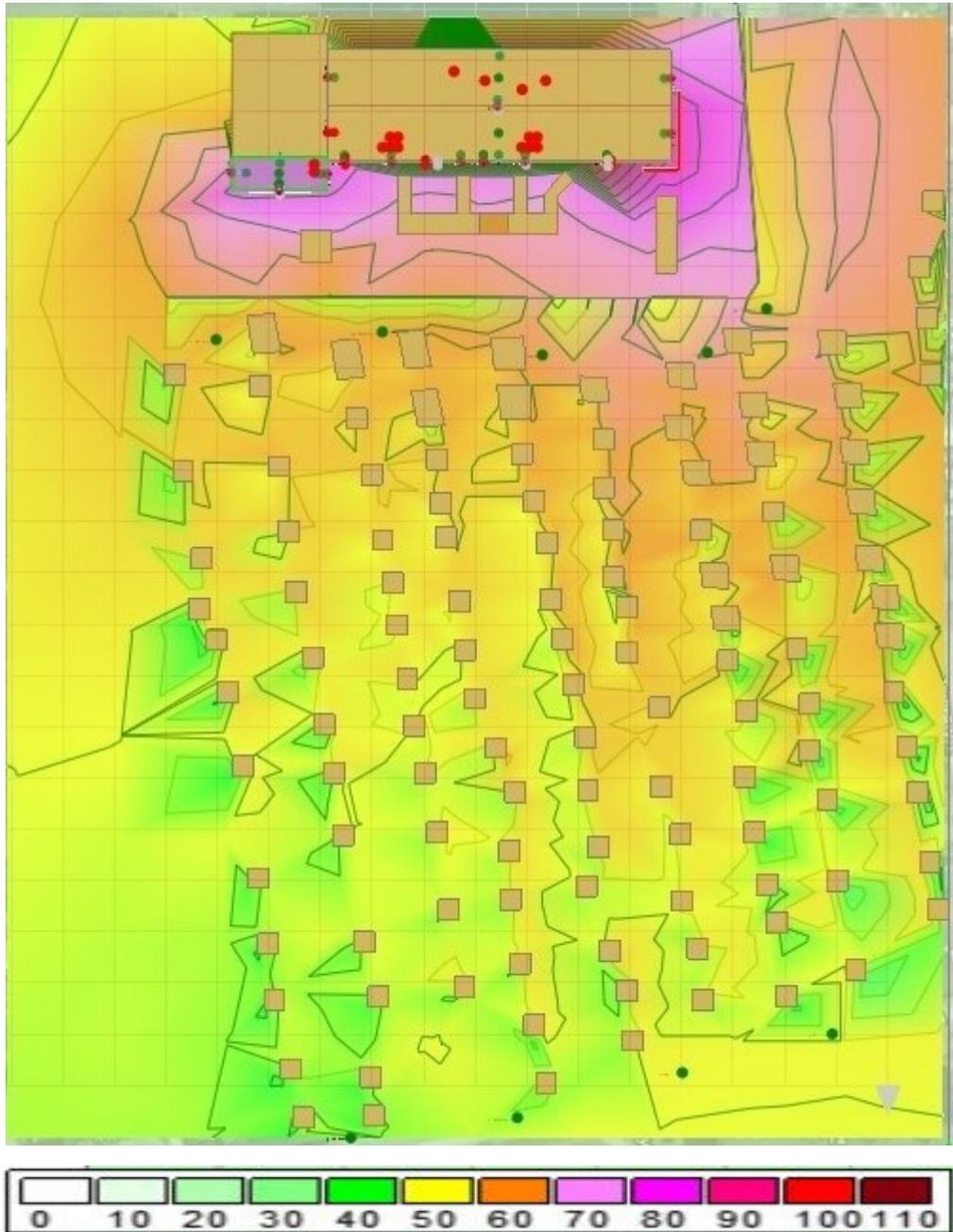


Рисунок 3.14 - Шумовая карта при отключении первого сетевого насоса СЭ-2500-180

Отключение второго насосного агрегата в цехе сетевой воды позволило снизить уровни шума в западной центральной и дальней, а также южной частях жилого массива (рис. 3.15).

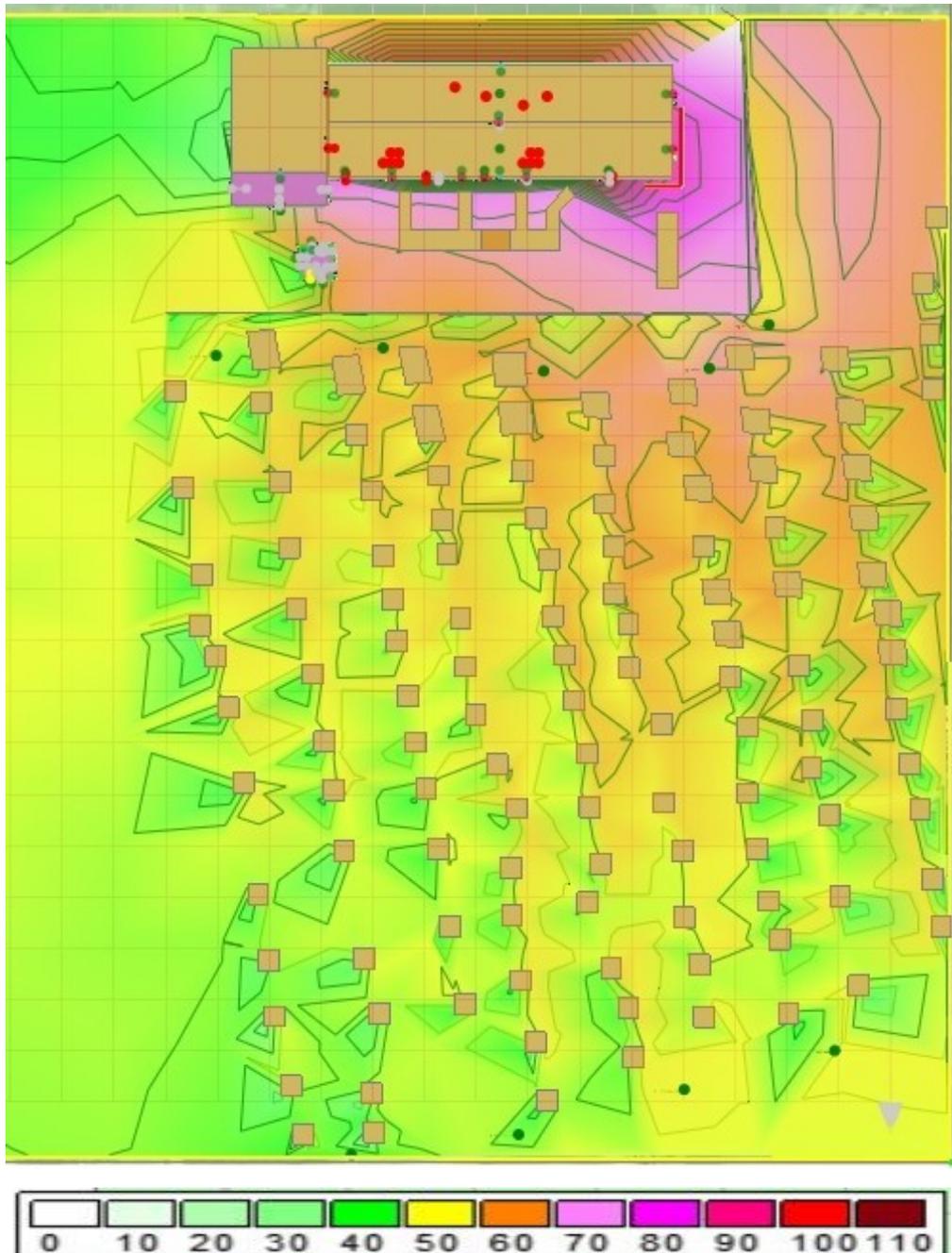


Рисунок 3.15 - Шумовая карта при отключении
второго сетевого насоса СЭ-2500-180

Отключение первого дутьевого вентилятора ВДН-26-11У повлияло на уменьшение уровня шума в южной ближней и центральной частях района исследования (рис. 3.16).

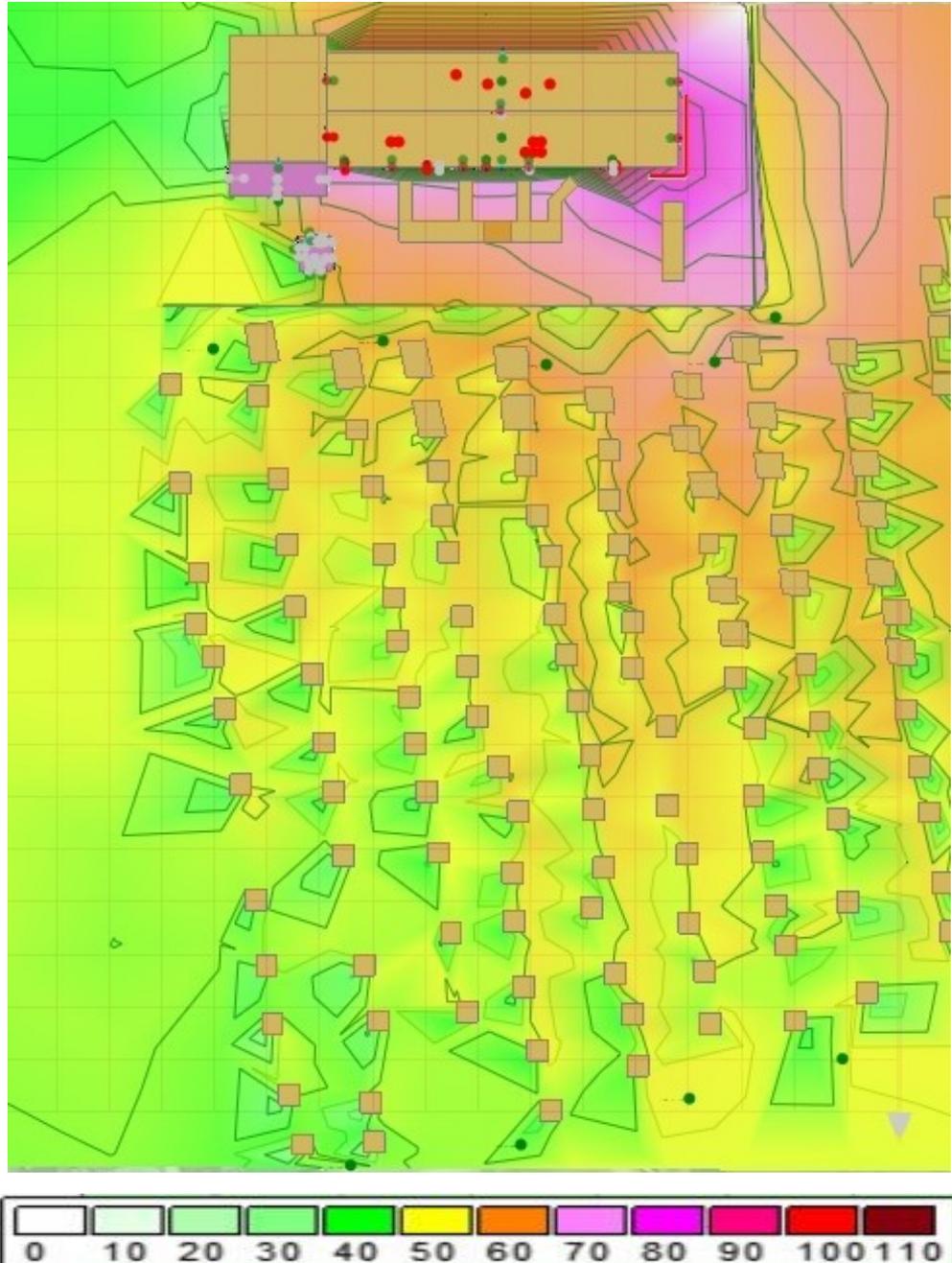


Рисунок 3.16 - Шумовая карта при отключении первого дутьевого вентилятора ВДН-26-11У

Отключение первого дымососа ДН24х2-0,62ГМ из двух привело к снижению уровня шума в восточной дальней части поселка (рис. 3.17).

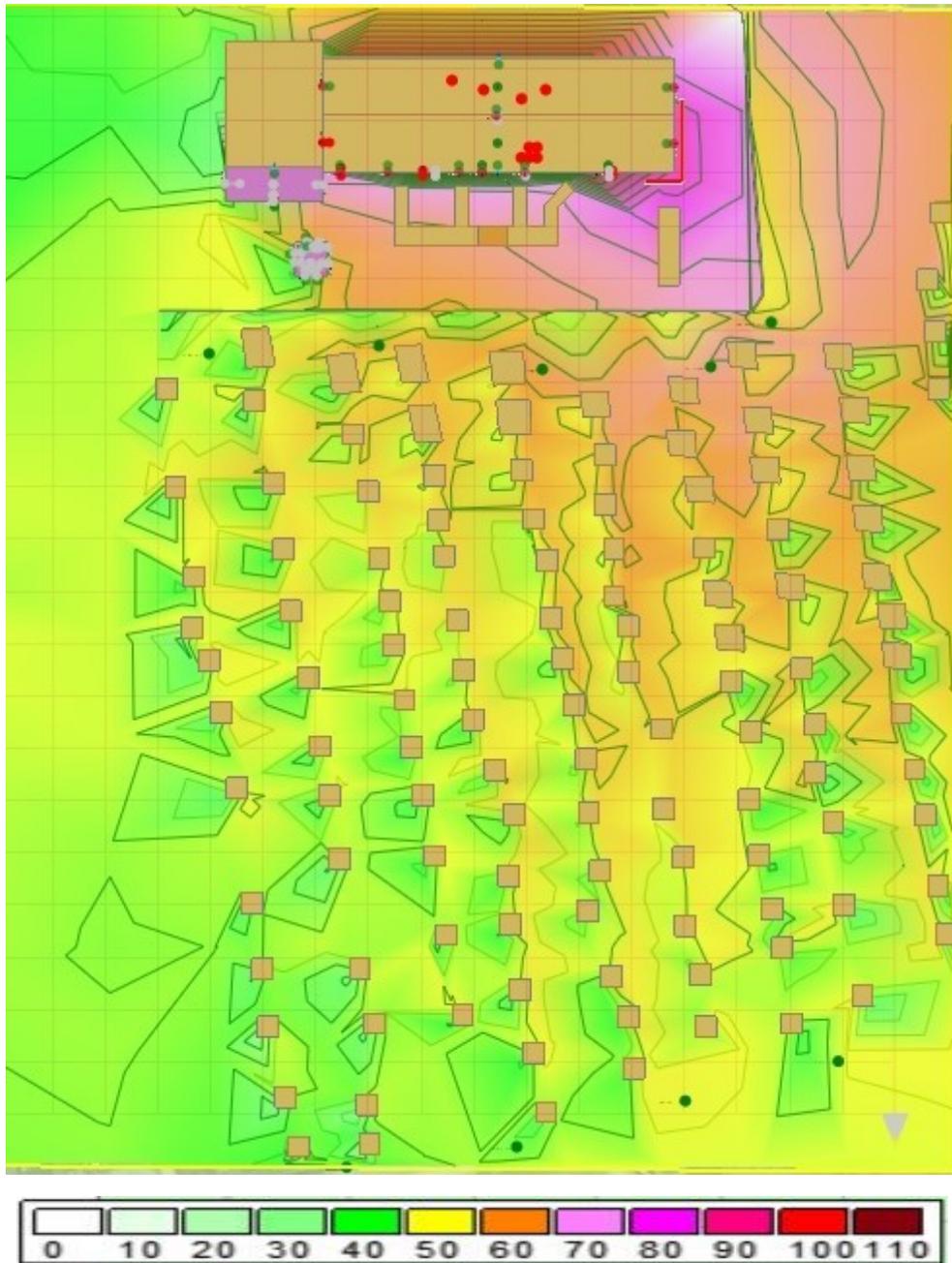


Рисунок 3.17 - Шумовая карта при отключении первого дымососа ДН24х2-0,62ГМ

После отключения второго дутьевого вентилятора ВДН-26-11-У уменьшились уровни шума в южных частях поселка (рис. 3.18).

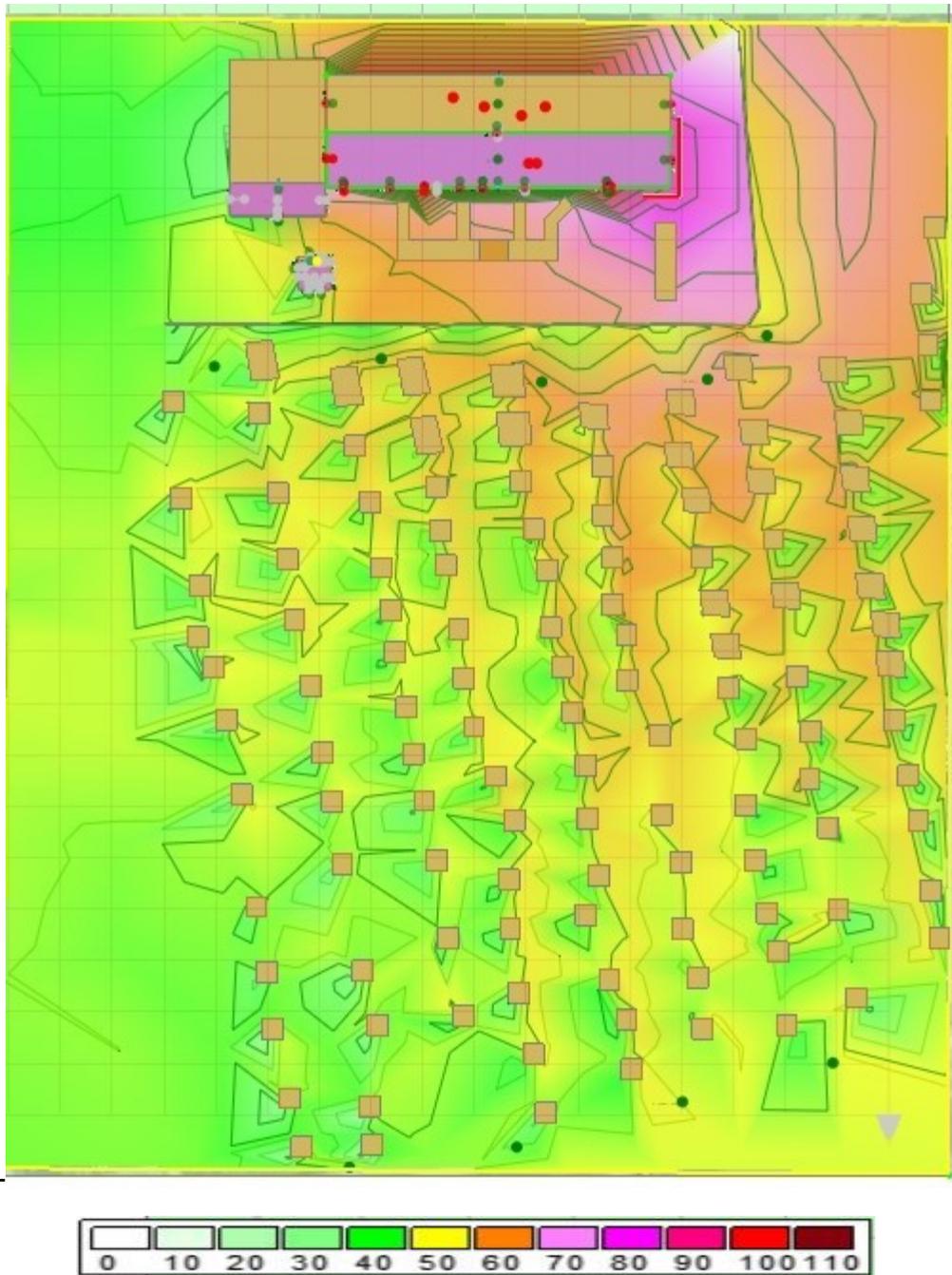


Рисунок 3.18 - Шумовая карта при отключении второго дутьевого вентилятора ВДН-26-11-У

Последующее отключение второго дымососа ДН24х2-0,62ГМ привело к снижению уровня шума в восточной центральной и дальней частях поселка (рис. 3.19).

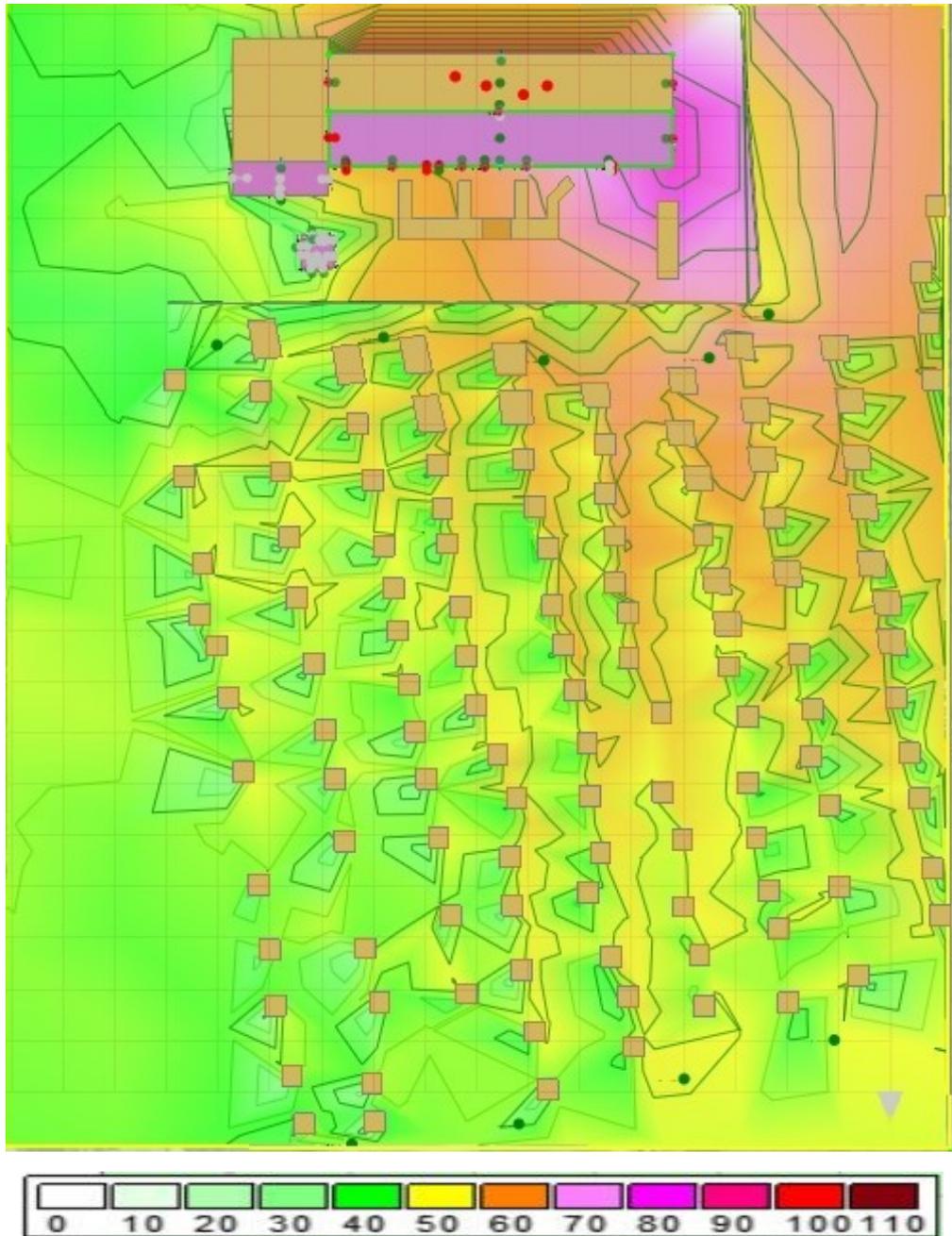


Рис. 3.19 - Шумовая карта при отключении второго дымососа ДН24х2-0,62ГМ

С использованием созданной экспериментально-теоретической модели расчетным методом исследовалось также влияния наружной газовой трубы на шумовое загрязнение окружающей среды. При исключении данного источника уровни шума в восточной ближней и центральной частях стали соответствовать санитарным нормам (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 - Шумовая карта при исключении источника шума – наружной газовой трубы

Из анализа шумовых карт видно, что разработанная модель позволяет прогнозировать влияние того или иного энергетического оборудования, используемого на тепловых электростанциях, районных котельных, других объектах энергетики на акустическую обстановку в селитебной зоне.

3.7 Разработка мероприятий по снижению шумового загрязнения окружающей среды энергетическим оборудованием районной котельной и оценка их эффективности расчетным методом

3.7.1 Расчетные исследования по определению влияния акустических экранов на параметры шума в селитебной зоне

В п. 3.6 был сделан важный вывод о том, что благодаря полученной экспериментально-теоретической модели можно оценить вклад каждого из рассматриваемых источников шума на шумовое поле в исследуемой зоне. На основе этого вывода можно провести дальнейшие исследования, целью которых является выработка практических рекомендаций по выбору того или иного технического решения по улучшению акустической обстановки в селитебной зоне и оценка его эффективности.

В качестве одного из технических решений по улучшению акустической обстановки в исследуемой зоне предлагались акустические экраны. Акустические экраны являются средством снижения шума на пути его распространения.

Экраны проектировались вдоль забора с южной и восточной сторон энергетического предприятия, со сторон расположения жилых домов. Проводились расчеты шумовых карт при установке различных вариантов акустических экранов из ряда, предлагаемого изготовителями [20, 27].

Расчетная эффективность акустического экрана с характеристиками: высота 6 м, толщина 0,12 м, коэффициент звукопоглощения 0,8 приведена на рисунке 3.21а. Из анализа шумовой карты видно, что предлагаемый вариант лишь частично решает проблему снижения шума в жилой зоне.

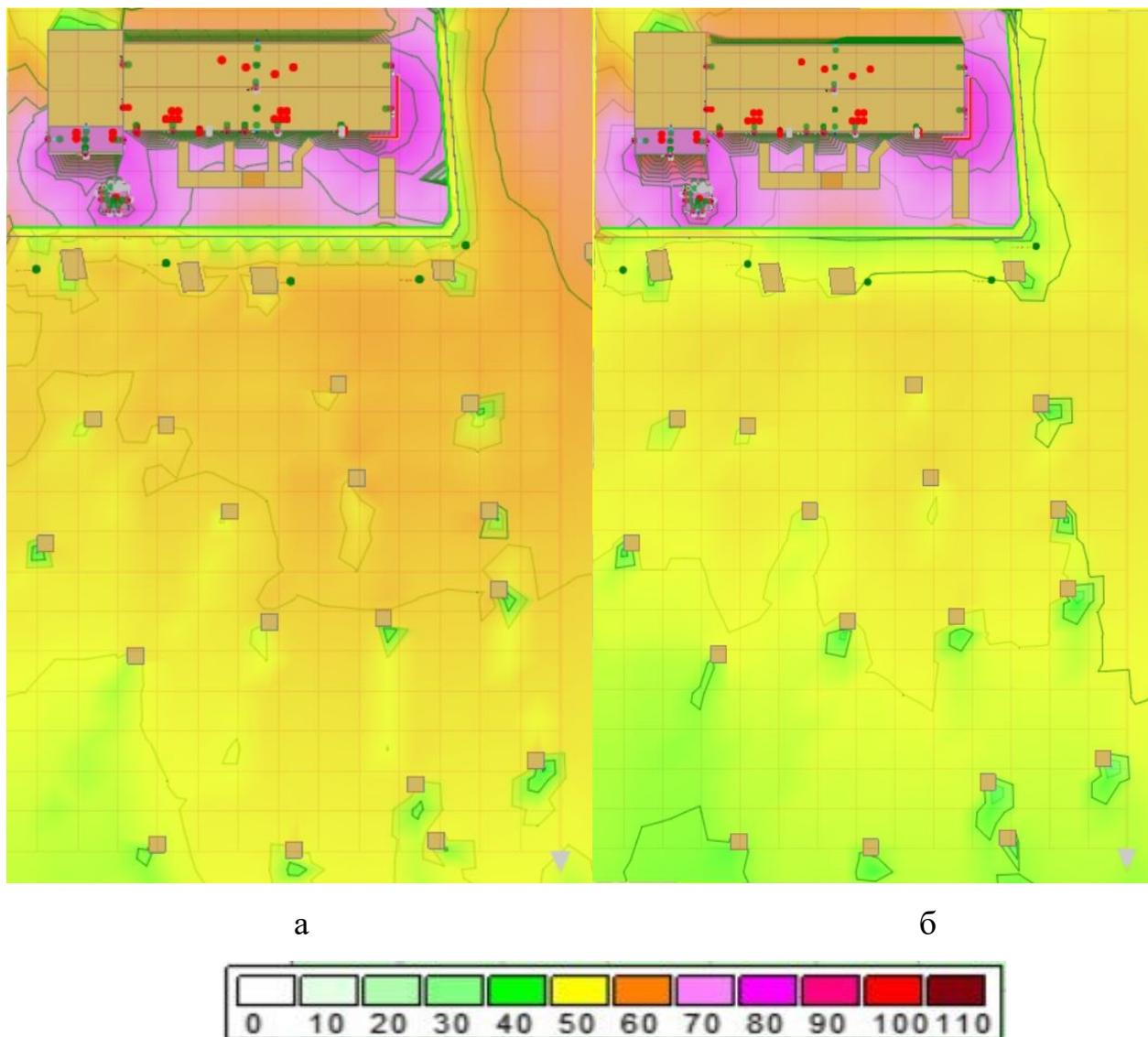


Рисунок 3.21 - Шумовые карты при установке акустических экранов:
 а - высота 6 м и толщина 0,12 м, б - высота 9 м и толщина 0,12 м.

Увеличение высоты акустического экрана до 9 м улучшает шумовую обстановку в жилом районе. Это видно на рисунке 3.21б, но также не обеспечивает снижение уровня шума в селитебной зоне до санитарных норм.

Дальнейшее увеличение высоты экрана до 12 м и увеличение его толщины до 1 м снижает уровни звука в широком диапазоне частот в исследуемых точках. Однако в полосе средних частот эффективность такого мероприятия недостаточна. (рис. 3.22, табл. 3.8). А также в центре поселка имеются области с уровнем звука, превышающим ночные нормы.

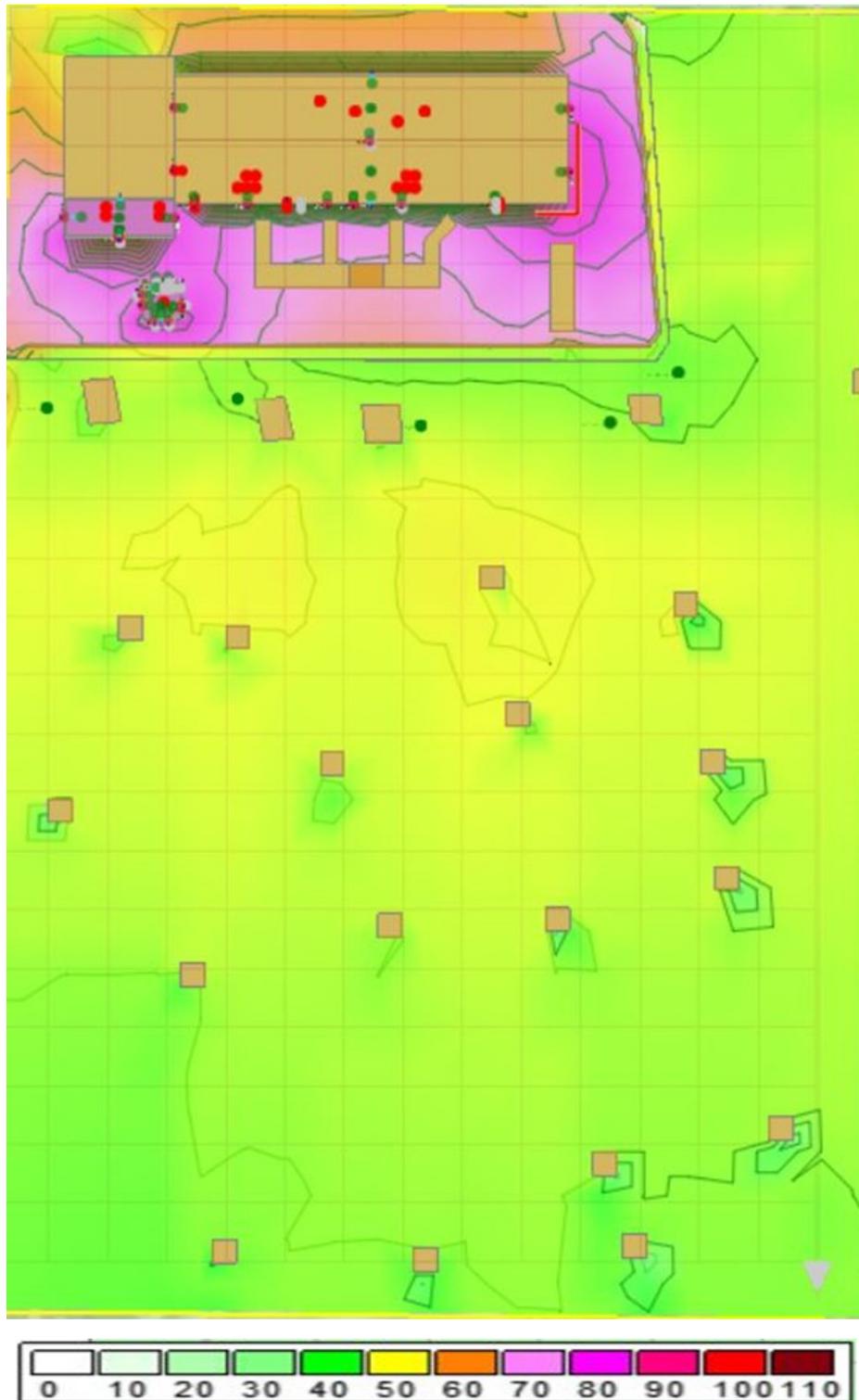


Рисунок 3.22 - Шумовая карта при установке акустического экрана высотой 12 м и толщиной 1 м.

Таблица 3.8 - Результаты акустического расчета при установке акустического экрана высотой 12 м и толщиной 1 м

Место измерения (контрольная точка)	Время измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								L экв, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
КТ1	День	54,5	48	46,8	47,1	39,8	34,1	26,7	12,7	46,8
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	54,5	48	46,8	47,1	39,8	34,1	26,7	12,7	46,8
	превышение	-	-	2,8	8,1	4,8	2,1	-	-	6,8
КТ2	День	48,5	41,7	42,2	40,4	35,1	32,6	24,8	12,1	41,7
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	48,5	41,7	42,2	40,4	35,1	32,6	24,8	12,1	41,7
	превышение	-	-	-	1,4	0,1	0,6	-	-	1,7
КТ3	День	55,9	47	47,8	43,3	37,6	35,7	30	16	45,2
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	55,9	47	47,8	43,3	37,6	35,7	30	16	45,2
	превышение	-	-	3,8	4,3	2,6	3,7	-	-	5,2
КТ4	День	54	45,9	46	44,2	38,9	34,9	26,5	7,4	45,1
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	54	45,9	46	44,2	38,9	34,9	26,5	7,4	45,1
	превышение	-	-	2	5,2	3,9	2,9	-	-	5,1
КТ5	День	50,3	41,6	42,1	40,1	38,1	35,7	27	10,1	42,7
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	50,3	41,6	42,1	40,1	38,1	35,7	27	10,1	42,7
	превышение	-	-	-	1,1	3,1	3,7	-	-	2,7

Исходя из сравнительного анализа высот здания и экрана, можно предположить, что эффективность экрана будет достаточной при его высоте в 17-20 м. В работе [119] упоминается о строительстве шумозащитного экрана высотой 18 м для решения снижения влияния шума от работы котельной, расположенной в центре города Редондо Бич (США). Однако, в России разработчики акустических экранов не имеют опыта проектирования экранов с такими параметрами.

В ходе теоретических исследований рассматривалось экранирование от шума котельной жилых застроек путем установки вблизи домов шумозащитных экранов (заборов). Высота забора соответствовала 3 м, толщина – 0,12 м, коэффициент звукопоглощения – 0,8, суммарная протяженность забора ~ 4000 м. Визуализация результатов расчета представлены на рисунке 3.23.

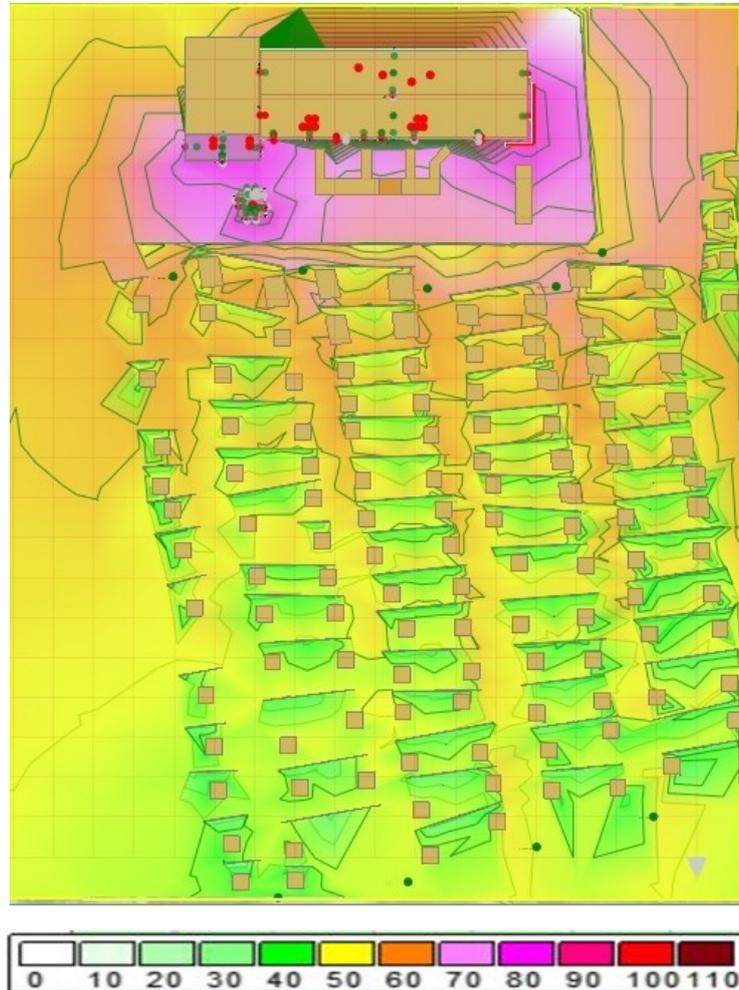


Рисунок 3.23 - Шумовая карта при установке акустических экранов на жилых участках

Из рисунка 3.23 видно, что предлагаемый вариант не обеспечивает снижение уровня звукового давления до санитарных норм.

3.7.2 Комплексные технические решения, направленные на снижение шумового загрязнения в окружающей среде и результаты расчетных исследований

Разработка приемлемого технического решения для снижения шума применительно к конкретному источнику шума является достаточно сложной технической задачей. Сложность решения задачи обоснована тем, что одновременно приходится решать несколько задач: снизить шум на территории застройки и при этом обеспечить нормальную работу оборудования без ухудшения рабочих характеристик, а также обеспечить доступ к оборудованию для обслуживания или замены [11, 19]. По экономическим и временным показателям оценку эффективности того или иного технического решения целесообразно проводить расчетным методом. Такой подход использовался при решении вышеуказанной задачи [23, 25, 27, 29, 30].

В пп. 2.1.2 были приведены различные виды энергетического оборудования, которые являются потенциальными источниками шумового загрязнения окружающей среды. Технические характеристики некоторых из рассматриваемых источников шума приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 - Технические характеристики энергетического оборудования

Оборудование	Габариты (ДхШхВ), мм	Масса, кг
Сетевой насос СЭ-2500-180	4410x1775x1610	2300
Электродвигатель 4АЗМ-1600/6000 УХЛ4	2595x1680x1250	4380
Регулятор давления РДУК2В-200-140	600x615x711 Ø седла 140 мм	280
Дымосос ДН24х2-0,62ГМ	6889x6261x5272	15600
Электродвигатель ДАЗО2-17-44-8/10-У 1	2330x2640x2255	8250
Дутьевой вентилятор ВДН-26-11-У	4015x5752x4715	8200
Электродвигатель ДАЗО2-17-44-8/10-У 1	2330x2640x2255	8250
Дымосос рециркуляции ВГДН-17	2575x3450x2430	2430
Электродвигатель ДАЗО-400У-6У	1875x1320x1270	2650

Анализ научно-технической литературы показывает, что для снижения шума, генерируемого вышеуказанным оборудованием, разработан ряд технических решений. Сущность этих решений и краткое описание их конструкций приведены ниже.

3.7.2.1 Технические решения, направленные на снижение структурного шума оборудования путем уменьшения вибрации

Известным способом уменьшения вибраций промышленного оборудования и, как следствие, снижения структурного шума, является устройство массивного фундамента, в котором затухают передаваемые ему колебания (Глава 1, пп.1.3.2). Суть данного способа заключается в приближении центра тяжести оборудования к точкам опоры, обеспечивающее устойчивое равновесие.

Предлагается установить каждый сетевой насос СЭ-2500-180 и питающий его электродвигатель 4АЗМ-1600/6000 УХЛ4 в цехе сетевой воды на общую платформу с обеспечением соосности и динамической балансировки. Вес общей платформы рекомендуется таким, чтобы его величина была в 3-5 раз больше веса насоса и двигателя (пп.2.2). Общая масса указанных насоса и двигателя составляет 6680 кг (табл. 4.5). Следовательно, рекомендуемая масса платформы может быть в пределах диапазона от 20000 до 33000 кг.

Тягодутьевые машины:

- дымосос ДН24х2-0,62ГМ и его электродвигатель ДАЗО2-17-44-8/1.0-У 1;
 - дутьевой вентилятор ВДН-26-11-У и его электродвигатель ДАЗО2-17-44-8/10-У 1;
 - дымосос рециркуляции ВГДН-17 и его электродвигатель ДАЗО-400У-6У
- рекомендуется также установить на общие опорные плиты с организацией общих виброизолирующих фундаментов с обязательным отделением их сквозным швом от смежных фундаментов: здания, оборудования и пола [92].

Оценочные расчеты показывают, что данные мероприятия обеспечат снижение уровня шума в контрольных точках на 3-5 дБА.

Согласно правил [100], для уменьшения вибраций фундаментов машин с динамическими нагрузками, необходимо предусматривать виброзащиту (виброизолирующие фундаменты, динамические гасители и др.). Для рассматриваемого оборудования в качестве виброизолирующих опор могут быть применены виброизоляторы фирмы VIBRONA, представленные в главе 2 на рисунках 2.1, 2.2.

Варианты установки платформ с энергетическим оборудованием и виброизолирующими опорами на фундамент показаны в главе 2 на рисунке 2.3. Выполнение этих мероприятий должно обеспечить снижение уровня шума в жилебной зоне на 8-15 дБА.

Установка виброизолирующих вставок в трубы на входе и выходе из насосов и перед входом трубы в стену, а также виброизолирующих прокладок в точках опоры энергетического оборудования может привести к дополнительному снижению структурного шума.



Рисунок 3.24 - Рекомендуемые места установок виброизолирующих вставок в цехе сетевой воды:

а – виброизолирующие компенсаторы, б – виброизолирующие прокладки

3.7.2.2 Технические решения, направленные на снижение шума газового редуктора

По результатам обследования акустической обстановки непосредственно на территории районной котельной (глава 2, табл.2.2) основным источником шума из

рассматриваемых является регулятор давления РДУК2В-200-140. Общий уровень шума вблизи редуктора составляет 107 дБА.

Облицовка стен здания газораспределительного пункта звукопоглощающими материалами. Установка в тракт подачи газа после газового регулятора РДУК2В-200-140 глушителя шума, либо замена регулятора другим, с лучшими акустическими характеристиками. По паспортным данным на глушители и регуляторы давления уровень шума в ближнем акустическом поле может понизиться на 20-30 дБА.

Расчеты показывают, что при выполнении предлагаемых мероприятий уровень шума в дальнем акустическом поле может снизиться на 5-7 дБА.

3.7.2.3 Технические решения, направленные на снижение шума наружного газопровода

Прокладка газопровода на территории котельной наземная, выполнена на железобетонных и металлических опорах. С целью снижения структурного шума от газопровода рекомендуется установить виброизолирующие прокладки в местах крепления трубы к стене предприятия и на опорах. (рис 3.25).



Рисунок 3.25 – Рекомендуемые места установок виброизолирующих прокладок для наружной газовой трубы

Для снижения высокочастотной составляющей шума рекомендуется установить на шумящий участок газопровода звукопоглощающий чехол. Данный

метод обеспечит снижение шума в зоне нахождения газовой трубы до 30 дБ. (гл. 1, пп 1.3.4, рис. 1.13).

3.7.2.4 Метод снижения шума на пути его распространения путем использования искусственных барьеров

Для снижения шума на пути распространения рекомендуется установка вокруг предприятия шумозащитных экранов. Согласно расчетным данным, параметры экрана должны соответствовать следующим значениям: высота 6 м, толщина ~ 0,12 м, длина 300 м. Экран устанавливается со сторон расположения жилого массива (Приложения Б, В).

Для снижения шума от воздухозаборов дутьевых вентиляторов предлагается установка у входных каналов системы всасывания звукоизолирующих кожухов.

3.7.2.5 Расчетные исследования по определению влияния комплексных технических решений на параметры шума в селитебной зоне

Оценка эффективности комбинированных технических решений проводилась с использованием разработанной экспериментально-теоретической модели шумового поля (п. 3.4) [23, 29, 30].

Результаты расчета акустической обстановки при внедрении рассмотренных в пп.3.7.2 шумовиброзащитных мероприятий представлены на рисунке 3.26 и таблице 3.10.

Место измерения (контрольная точка)	Время измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								L экв, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Ночь	49,4	42,7	42,8	39,6	35,1	31,5	27,2	13,7	40,8
	превышение	-	-	-	0,6	0,1	-	-	-	0,8
КТ3	День	48,5	41,7	43,2	40,4	35,1	32,6	25,8	12,1	41,8
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	48,5	41,7	43,2	40,4	35,1	32,6	25,8	12,1	41,8
	превышение	-	-	-	1,4	0,1	0,6	-	-	1,8
КТ4	День	48,3	41,6	43,2	42,5	36,7	32,4	25,9	10,0	42,9
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	48,3	41,6	43,2	42,5	36,7	32,4	25,9	10,0	42,9
	превышение	-	-	-	3,5	1,7	0,4	-	-	2,9
КТ5	День	44,6	36,5	37,1	35,8	33,	28,9	19,5	0	37,9
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	44,6	36,5	37,1	35,8	33,	28,9	19,5	0	37,9
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
КТ6	День	42,1	34,3	35,7	37,2	29,4	25,7	14,8	0	36,6
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	42,1	34,3	35,7	37,2	29,4	25,7	14,8	0	36,6
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
КТ7	День	42,6	35,2	37,2	38,2	32,7	28,2	16,7	0	38,3
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	42,6	35,2	37,2	38,2	32,7	28,2	16,7	0	38,3
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
КТ8	День	45,9	35,3	34,8	36,9	33,1	29,7	20,1	0	38
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	45,9	35,3	34,8	36,9	33,1	29,7	20,1	0	38
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
КТ9	День	46,8	35,6	24,7	36,9	38	33,8	22,1	0	41
	превышение	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ночь	46,8	35,6	24,7	36,9	38	33,8	22,1	0	41
	превышение	-	-	-	-	3,0	1,8	-	-	1

Анализ результатов показывает, что комплексное использование технических средств глушения шума и вибрации способствует значительному снижению уровня шума в окружающей среде.

3.8 Расчет показателей эколого-экономической эффективности решений, направленных на обеспечение в селитебной зоне санитарных норм по шуму, выбор технических решений для практического внедрения в производство

Применительно к районной котельной «Савиново», мероприятия по снижению шума можно вести по следующим направлениям:

- отселение жителей за пределы санитарной защитной зоны (СЗЗ);
- подавление шума на путях его распространения;
- снижение шума в источниках,
- и комбинирование двух последних вариантов.

В соответствии с санитарной классификацией промышленных объектов и производств, тепловые электростанции эквивалентной электрической мощностью 600 мВт и выше, работающие на газовом и газомазутном топливе, относятся к предприятиям второго класса и должны иметь СЗЗ не менее 500 м; теплоэлектроцентрали и районные котельные тепловой мощностью 200 Гкал и выше, работающие на газовом топливе, относятся к предприятиям третьего класса с СЗЗ не менее 300 м. Проживание населения в пределах санитарно-защитной зоны промышленных объектов не допускается. В связи с этим можно рассмотреть вариант переселения жителей в другие районы города. В санитарно-защитной зоне РК «Савиново» расположены порядка 133 частных домов с приусадебными участками, общей площадью 74400 кв. м. Средняя кадастровая стоимость квадратного метра составляет 1250 рублей (по данным публичной кадастровой карты). Общая кадастровая стоимость всех участков - 93 млн.рублей. Среднее количество проживающих в одном доме - 5 человек. Таким образом, отселению подлежат порядка 665 человек. Постановлением Правительства РФ 29.08.2005 N

541 (ред. от 15.05.2018) «О федеральных стандартах оплаты жилого помещения и коммунальных услуг» установлен федеральный стандарт социальной нормы площади жилого помещения в размере 18 кв. метров общей площади жилья на 1 гражданина. Следовательно, минимальная обеспеченность данного количества людей квадратными метрами нового жилья составит примерно 12000 кв.м. В соответствии с Приказом Минстроя России от 19 декабря 2019 г. N 827/пр «О нормативе стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по Российской Федерации на первое полугодие 2020 года» норматив стоимости одного квадратного метра общей площади жилого помещения по Российской Федерации на первое полугодие 2020 года составляет 46 013 (сорок шесть тысяч тринадцать) рублей.

Минимальные затраты на отселение жителей с рассматриваемой территории составят примерно 550,8 млн. руб.

Как уже указывалось выше, другим направлением по выполнению шумозащитных мероприятий является снижение шума в источниках, подавление шума на путях его распространения и комбинирование двух последних вариантов путём использования различных технических средств.

Каждое техническое решение в отдельности или в комплексе с другими может обеспечить снижение шума до разрешенных норм. Поэтому перед разработчиком всегда стоит задача выбора оптимального варианта. В качестве критериев оптимизации рассматриваются экологический и экономический. Из всех возможных шумозащитных комплексов, обеспечивающих в контрольной точке допустимый уровень шума, выбирается тот, который требует наименьших затрат [65].

Эколого-экономическая оценка предлагаемых комплексов с использованием различных технических решений заключалась в следующем. Вначале определяются виды комплексов, а затем определяется стоимость их реализации. Каждый комплекс включает в себя определенное количество технических предложений. Их число зависит от количества источников, эффективности используемых технических средств глушения шума. Ориентировочные показатели

эффективности применения средств шумоглушения определяются на основе анализа научно-технической литературы и сайтов предприятий, выпускающих такую продукцию. С использованием созданной экспериментально-теоретической модели определяется минимальное число принимаемых технических решений в комплексе, а затем из этих комплексов выбирается наиболее дешевый вариант.

В качестве комплекса №1 рассматривались различные варианты акустических экранов для обеспечения нормы уровня шума в контрольных точках (пп 3.7.1). Расчетами установлено, что для защиты жилых домов от шума, излучаемого энергетическим оборудованием данного предприятия, можно установить вдоль забора акустический экран высотой 12 метров и толщиной 1 метр. Стоимость такого проекта будет составлять 92 млн. руб.

Комплекс №2 включает мероприятия снижения шума в источниках и на пути распространения шума (пп 3.7.2), обеспечивающих в контрольной точке допустимый уровень шума. Эти результаты получены расчётным методом с использованием экспериментально теоретической модели акустического поля. Практическая реализация данного комплекса требует внедрение в производство следующих технических решений: монтаж насосов с электродвигателями на общее платформы (6,9 млн. р.), установка платформ с оборудованием на виброизолирующие опоры (3,2 млн. р.), монтаж глушителя в газовый тракт после регулятора давления (236 т. р.), облицовка стен ГРП шумопоглощающими материалами (120 т. р.), для тягодутьевых машин организация виброизолирующих фундаментов с обязательным отделением их сквозным швом от смежных фундаментов (14,6 млн. руб.), установка звукоизолирующие кожухов у входных каналов систем всасывания дутьевых вентиляторов (90 т.р.). использование звукопоглощающего кожуха-чехла на участок газопровода (36 т. р.), установка оконных блоков ПВХ (3,2 млн. р.), установка шумозащитного экрана высотой 6 м, толщиной ~ 0,12 м, длиной 300 м вдоль забора со стороны жилой зоны (14 млн. руб.). Общая стоимость внедрения комплекса № 1 в производство будет составлять примерно 42,4 млн. руб.

Таким образом, в результате анализа расчетных данных установлено, что санитарные нормы по шуму в жилом массиве можно обеспечить путем внедрения в производство двух различных шумозащитных комплексов. Из них выбран вариант – комплекс № 2, имеющий оптимальные эколого-экономические показатели. Стоимость реализации такого комплекса на предприятии составляет 42,4 млн. руб., что в 2,2 раза дешевле комплекса № 1.

3.9 Выводы по главе 3

1. С помощью программного комплекса АРМ «Акустика» разработана расчетная модель акустического поля, создаваемого районной котельной «Савиново», построена шумовая карта, отражающая значительное шумовое загрязнение окружающей среды.

2. Адекватность расчетной модели шумового поля подтверждена сравнением расчетных значений уровней звука с измеренными значениями, полученными в контрольных точках, что позволяет использовать расчетную модель для проведения численных исследований параметров шума.

3. Расчетами установлено, что установка акустических экранов на пути распространения шума параметрами (высота 6-9 м, толщина 0,12 м) не достаточна для обеспечения дневных и ночных нормативов шума на территории жилой застройки.

4. Численными исследованиями установлено, что санитарные нормы в контрольных точках можно обеспечить путем внедрения в производство двух вариантов шумозащитных комплексов. Перспективным является вариант № 2, имеющий лучшие эколого-экономические показатели. Стоимость реализации шумозащитного комплекса по такому варианту составляет 42,4 млн. руб., что в 2,2 раза дешевле, чем по первому варианту.

ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ РАЗДЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛА

4.1 Реализованные технические решения, направленные на снижение шума источников районной котельной

Реализация на предприятиях различных мероприятий, направленных на защиту окружающей среды и соблюдение природоохранного законодательства, осуществляется по планам природоохранных мероприятий. Планы включают перечень решений по снижению вредного воздействия деятельности предприятия на окружающую среду, сроки их реализации, затрачиваемые средства на их внедрение и ожидаемый эффект.

Разработанный комплекс технических решений включен в план природоохранных мероприятий АО «Татэнерго» и конец 2019 года частично реализован на котельной «Савиново».

Перечень шумозащитных мероприятий, выполненных на предприятии:

1. Проведена звукоизоляция здания ГРП.



Рисунок 4.1 – Здание газораспределительного пункта
Уровень шума около здания ГРП снизился в среднем на 15 дБА.

- Газовый регулятор давления РДУК2В-200-140 заменен на регулятор РДП-200ВЛГ



Рисунок 4.2 – Газовый редуктор РДП-200ВЛГ

На предприятии заменен регулятор давления газа РДУК2В-200-140 на регулятор РДП-200ВЛГ отечественного производства, что позволило снизить уровень шума в ближнем акустическом поле со 107 дБА до 91 дБА.

- Заменено остекление цеха сетевой воды на пластиковые окна с однокамерными стеклопакетами.



Рисунок 4.3 – Здание цеха сетевой воды

Уровень шума с южной стороны цеха снизился в среднем на 10 дБА.

4. В здании котельного цеха восстановлено остекление



Рисунок 4.4 – Корпус РК «Савиново»

5. Проведена изоляция наружного газопровода после здания ГРП кожухами из оцинкованной стали.



Рисунок 4.5 – Наружный газопровод предприятия

Изоляция металлическими кожухами со звукопоглощающей прокладкой обеспечила снижение шума в высокочастотной части спектра. Уровень общего

шума снижен на 20 дБА (со стороны восточного торца здания котельной, где ранее отмечалось значительное усиление высокочастотного звука (рис.4.6)).



Рисунок 4.6 – Газопровод котельной.

6. Смонтированы звукопоглощающие кожухи перед системами всасывания дутьевых вентиляторов.



Рисунок 4.7 – Воздухозабор дутьевого вентилятора

Данное мероприятие позволило снизить шум в ближнем акустическом поле системы забора воздуха на 7 дБА.

4.2 Экспериментальные исследования уровня звука в контрольных точках после практического внедрения технических решений

В таблице 4.1 приведены результаты акустических измерений после внедрения вышеописанных мероприятий, на рисунке 4.8 - точки измерения уровня звука.



Рисунок 4.8 – Точки измерения уровня звука после внедрения шумозащитных мероприятий

Таблица 4.1 - Результаты акустических измерений

№ п/п	Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Точка №1	73	69	64	61	64	54	53	47	46	64
2.	Точка №2	72	67	62	57	53	60	60	49	47	66
3.	Точка №3	71	69	65	65	70	61	58	52	46	69
4.	Точка №4	72	71	69	64	59	59	54	47	39	63
5.	Точка №5	88	78	70	72	72	67	65	60	51	74

№ п/п	Место измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6.	Точка №6	75	71	65	64	67	60	56	46	41	67
7.	Точка №7	69	66	59	58	58	54	53	53	49	62
8.	Точка №8	69	65	58	55	55	51	51	49	40	59
9.	Точка №9	67	64	63	62	62	55	50	46	43	60
10.	Точка №10	67	67	60	57	53	49	44	36	30	55
11.	Точка №11	73	70	65	59	48	51	51	44	38	58
12.	Точка №12	57	60	64	63	62	78	86	88	85	91
13.	Точка №13	65	62	62	60	54	48	49	46	36	58
14.	ПДУ на рабочих местах	107	95	80	82	78	75	73	71	69	80
15.	Точка №14д	70	67	60	56	52	49	46	39	33	56
16.	Точка №15д	66	62	56	58	54	47	43	35	32	56
17.	Точка №16д	67	57	51	45	46	48	39	37	30	51
18.	Точка №17д	62	56	49	43	43	42	37	35	31	49
19.	Точка №18д	62	60	46	41	42	40	35	32	30	47
20.	ПДУ селитебная зона (7.00-23.00)	85	70	61	54	49	45	42	40	39	50
21.	Точка №14н	63	58	59	52	51	41	42	37	31	52
22.	Точка №15н	67	62	49	45	55	48	43	36	30	55
23.	Точка №16н	64	57	46	43	43	39	42	36	31	48
24.	Точка №17н	66	59	47	40	40	36	41	37	31	47
25.	Точка №18н	62	57	44	43	39	36	42	33	29	46
26.	ПДУ селитебная зона (23.00-7.00)	78	62	52	44	39	35	32	30	28	40

Результаты акустических измерений, проведенных до и после внедрения технических решений (табл. 4.2), отражают достижение допустимого уровня шума на рабочих местах на всей территории открытой площадки предприятия, наибольшее снижение составило 21 дБА.

Таблица 4.2 – Уровни звука в точках измерения до и после внедрения шумозащитных мероприятий

№ п/п	Место измерения	Уровень звука (в дБА) до внедрения шумозащитных мероприятий	Уровень звука (в дБА) после внедрения шумозащитных мероприятий	Снижение шума (в дБА) Δ
1.	Точка №1	74	64	10
.	Точка №2	86	66	20
3.	Точка №3	77	69	8
4.	Точка №4	74	63	11
5.	Точка №5	81	74	7
6.	Точка №6	76	67	9
7.	Точка №7	81	62	19
8.	Точка №8	80	59	21
9.	Точка №9	72	60	12
10.	Точка №10	76	55	21
11.	Точка №11	74	58	16
12.	Точка №12	107	91	16
13.	Точка №13	63	58	5
14.	Точка №14д	65	56	9
15.	Точка №15д	68	56	12
16.	Точка №16д	68	51	17
17.	Точка №17д	63	49	14
18.	Точка №18д	59	47	12
19.	Точка №14н	65	52	13
20.	Точка №15н	71	55	16
21.	Точка №16н	65	48	17
22.	Точка №17н	59	47	12
23.	Точка №18н	58	46	12

В жилом массиве поселка Дружба выполненные шумозащитные мероприятия обеспечили снижение шума от 9 до 17 дБА. На рисунках 4.9-4.13 приведены скорректированные спектры шума по октавным полосам (коррекция-А) до и после внедрения мероприятий (п 4.1) в контрольных точках №№14-18 (рис. 4.8) в дневное и ночное время.

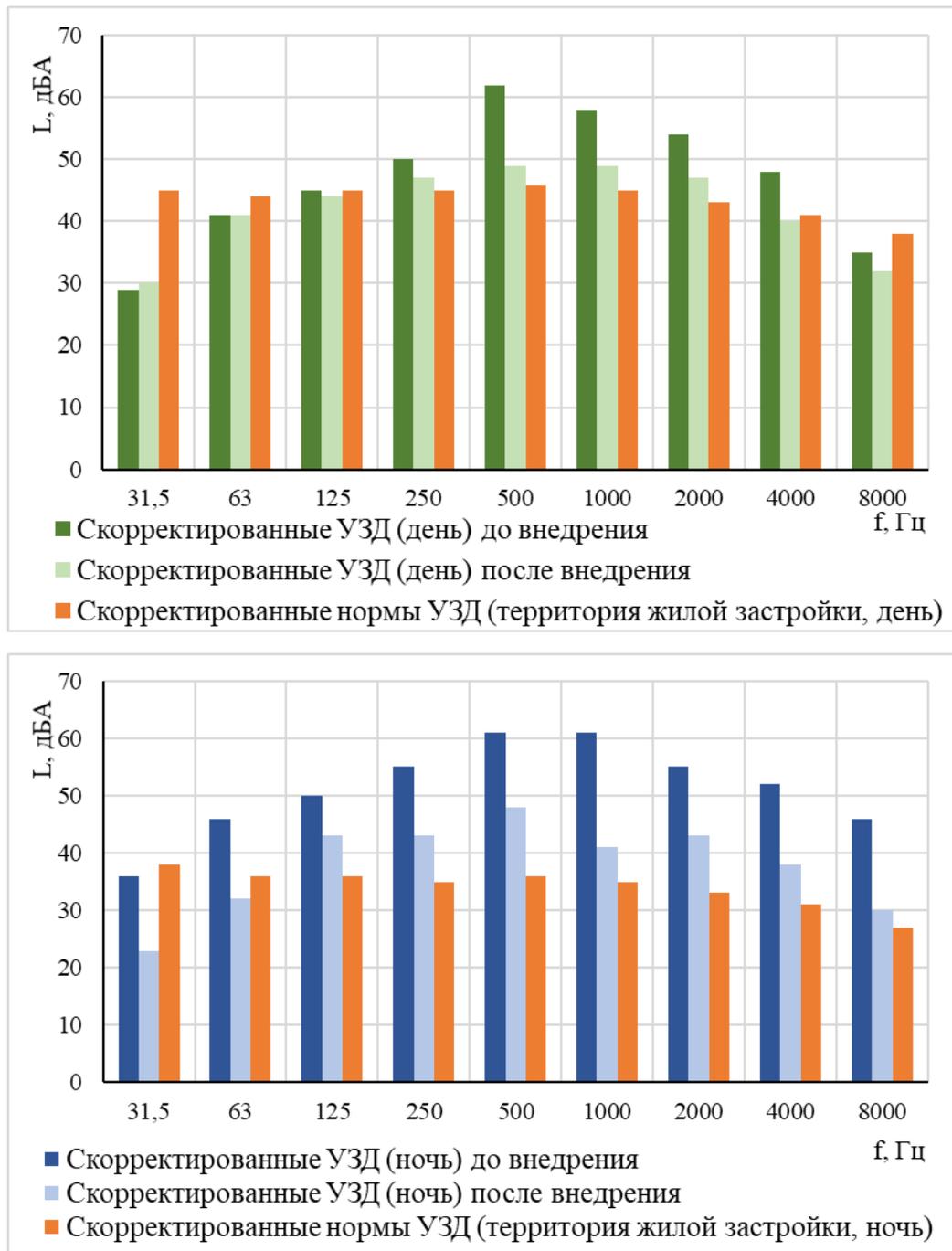


Рисунок 4.9 – Октавные спектры шума (день/ночь) в точке №14

Уровень шума в данной точке после частичного внедрения технических решений разработанного для котельной комплекса мероприятий составил 52 дБА, достигнуто снижение шума на 13 дБА. Достижение норм УЗД в октавных полосах достигнуто только для низкочастотной области.

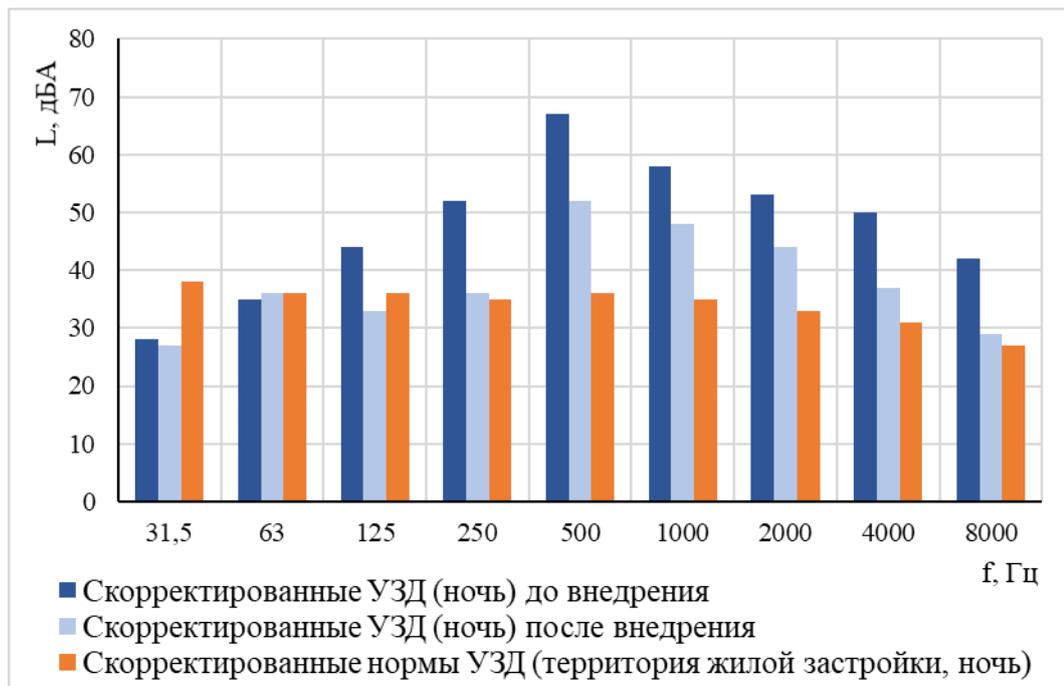
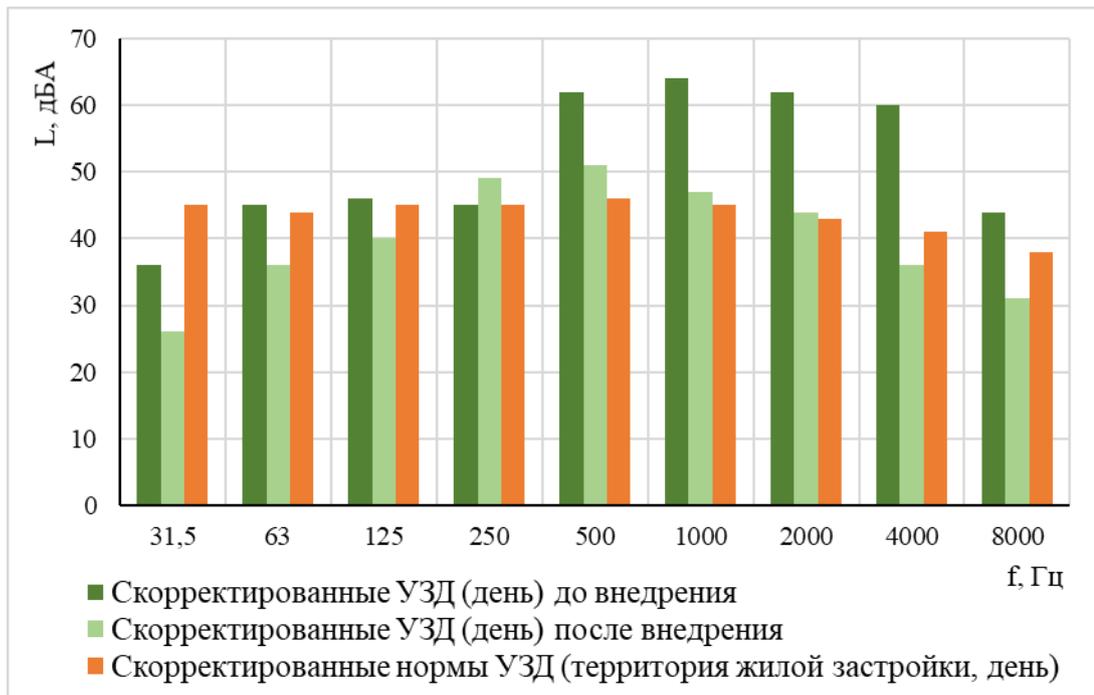


Рисунок 4.10 – Октавные спектры шума (день/ночь) в точке №15

Точка №15 расположена в зоне воздействия ГРП, снижение шума составляет 16 дБА. Отмечено снижение высокочастотных составляющих шума, однако предельные допустимые уровни не достигнуты.

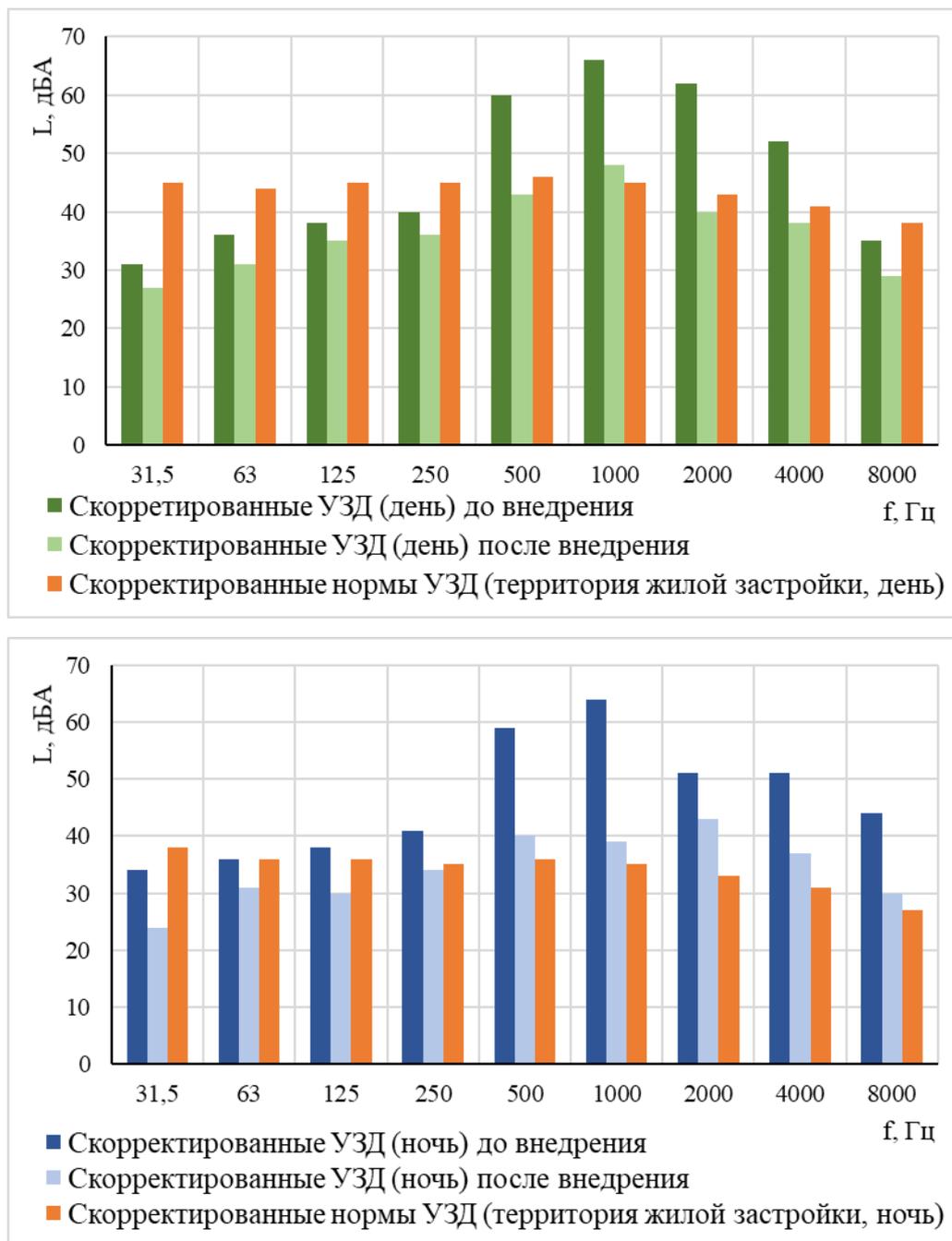


Рисунок 4.11 – Октавные спектры шума (день/ночь) в точке №16

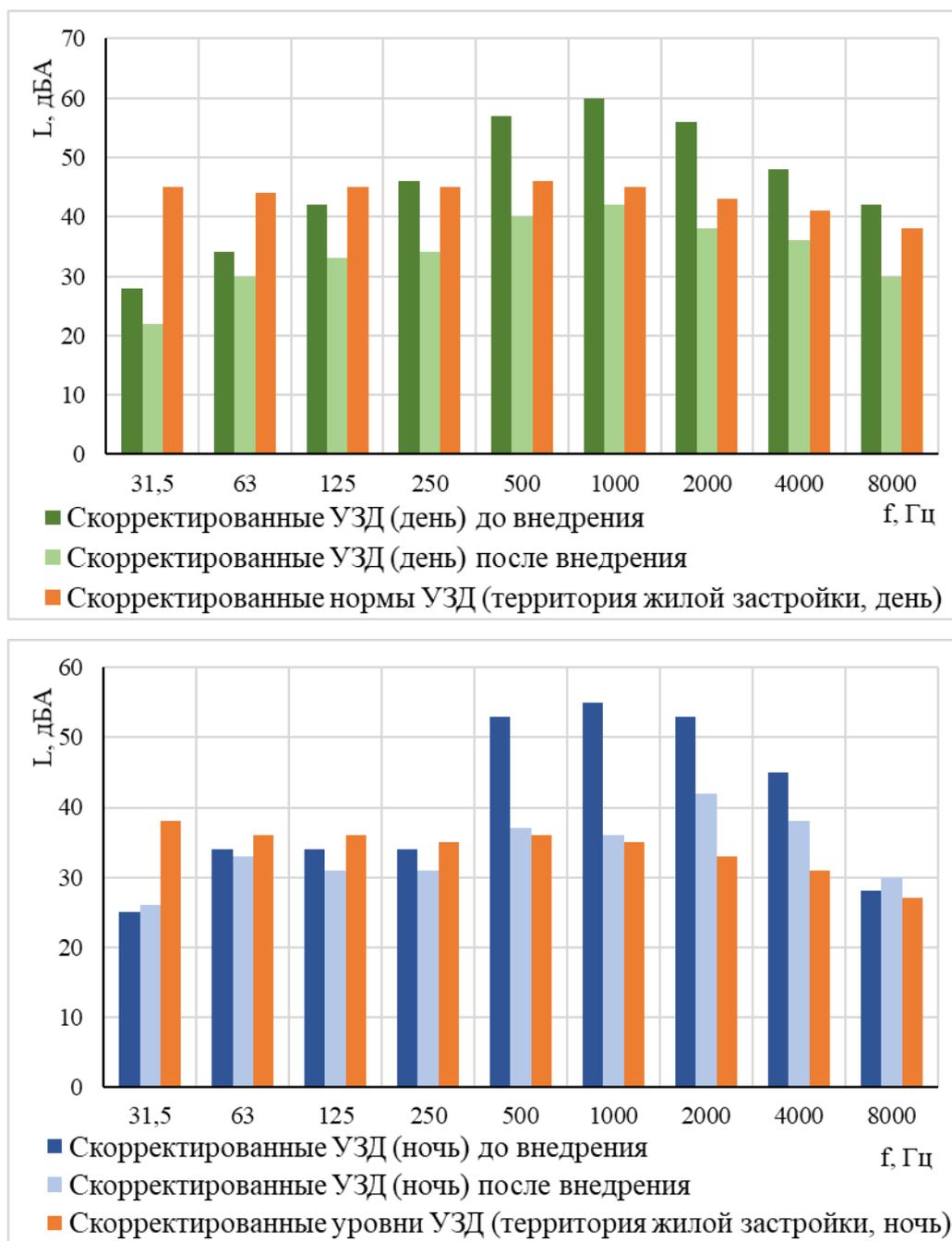


Рисунок 4.12 – Октавные спектры шума (день/ночь) в точке №17

Точки №16 (рис. 4.11) и №17 (рис. 4.12) расположены в зоне воздействия работы воздухозаборных дутьевых вентиляторов. Оборудование их системы всасывания звукоизолирующими кожухами привело к значительному снижению шума в среднечастотной и высокочастотной областях. Нормы УЗД практически достигнуты в октавных полосах 500 Гц, 1000 Гц. Общий уровень шума в точках снижен на 12-17 дБА.

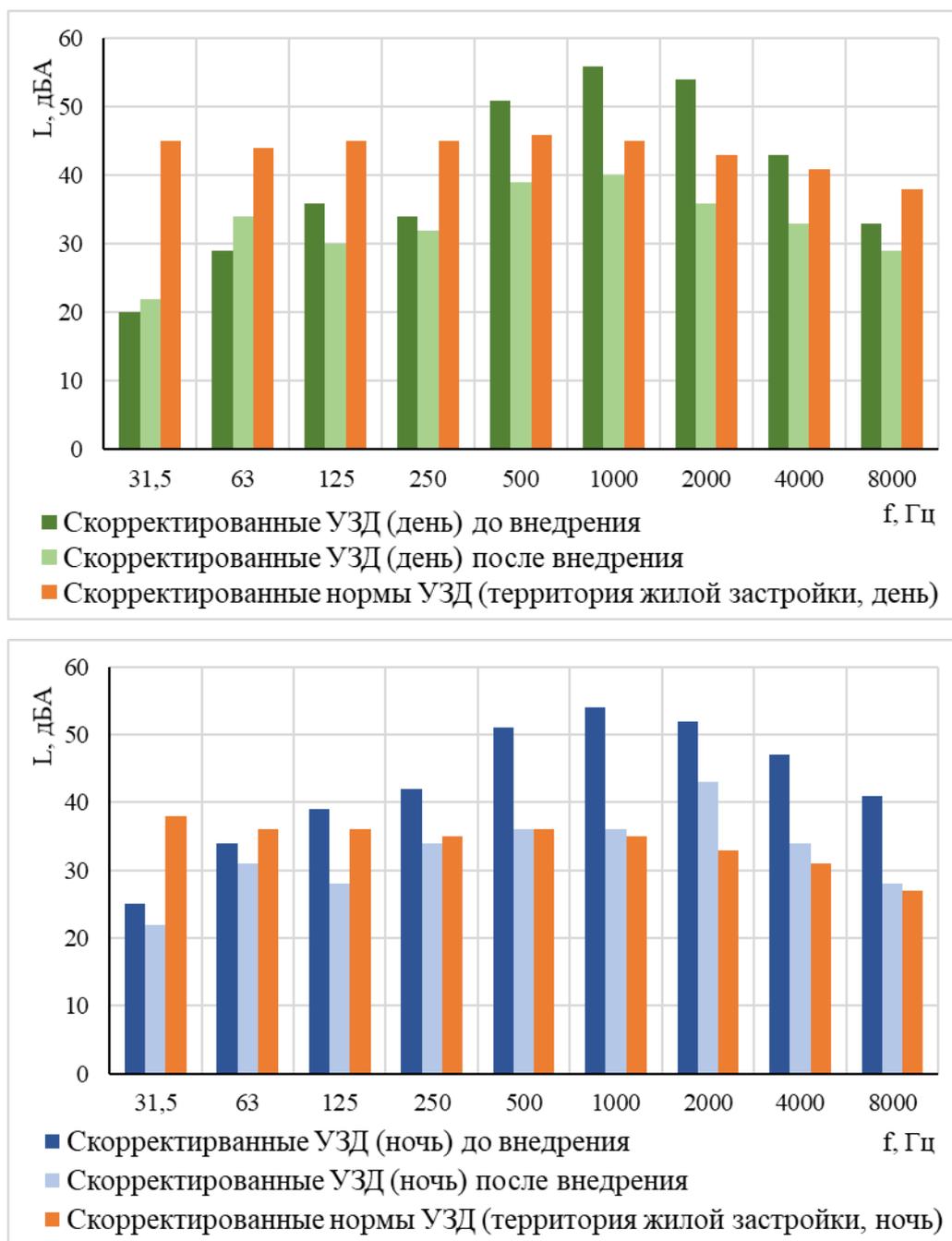


Рисунок 4.13 – Октавные спектры шума (день/ночь) в точке №18

Контрольная точка №18, расположена в зоне воздействия участка газопровода с восточной стороны предприятия, уровень шума на территории жилой застройки составлял 59 дБ, после оборудования газопровода звукопоглощающим стальным кожухом уровень шума в данной части снижен до 47 дБ. Значительно снижены УЗД в октавных полосах 500 Гц, 1000 Гц, 2000 Гц. Дневные нормы шума достигнуты, однако уровень ночного шума еще не соответствует гигиеническим нормативам.

4.3 Экспериментальные зависимости уровня шума в контрольных точках от технического состояния зданий и сооружений, конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных до и после внедрения шумозащитных мероприятий

Экспериментальные данные изменения уровня шума после внедрения инженерных решений позволили получить зависимости УЗД по октавным полосам частот и уровня шума в ближнем акустическом поле от технического состояния зданий и сооружений, конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных (рис. 4.14-4.17):

- от типа газового редуктора

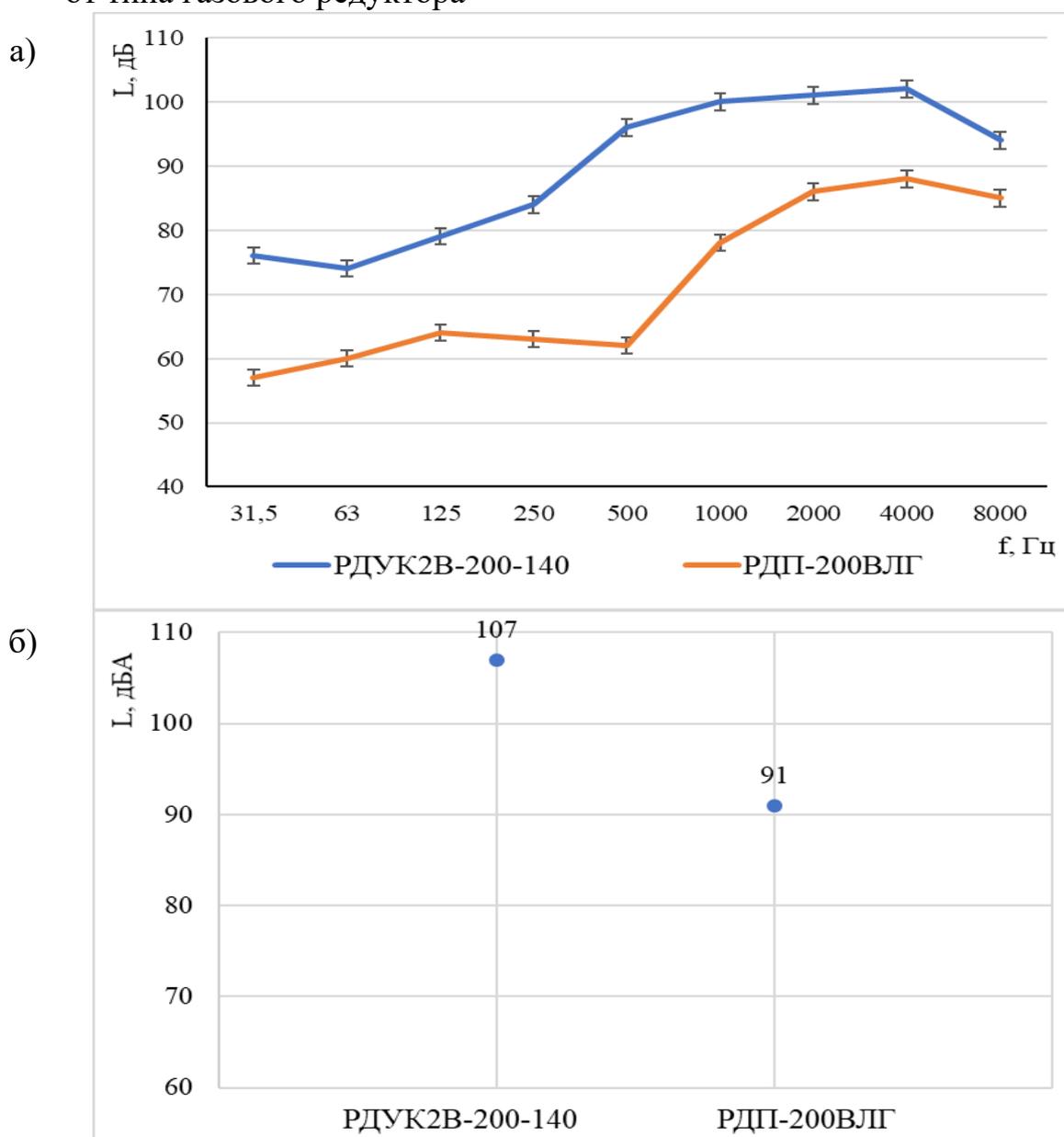


Рисунок 4.14 – Зависимость УЗД в октавных полосах частот(а) и уровня шума (б) от типа газорегулирующего оборудования

- влияния технического состояния зданий и сооружений:

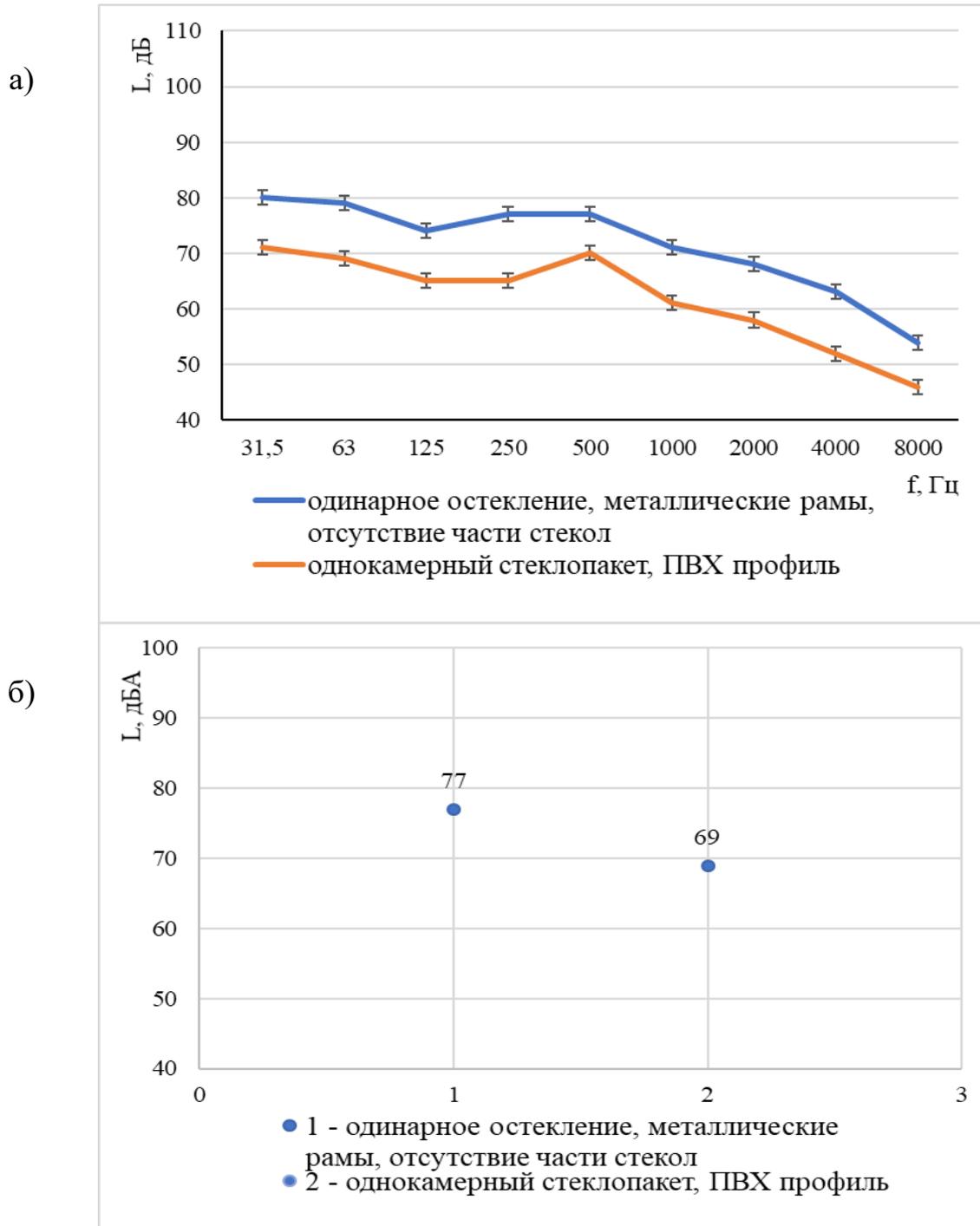


Рисунок 4.15 – Зависимость УЗД в октавных полосах частот (а) и уровня шума (б) на открытой площадке предприятия от состояния и вида остекления производственных помещений

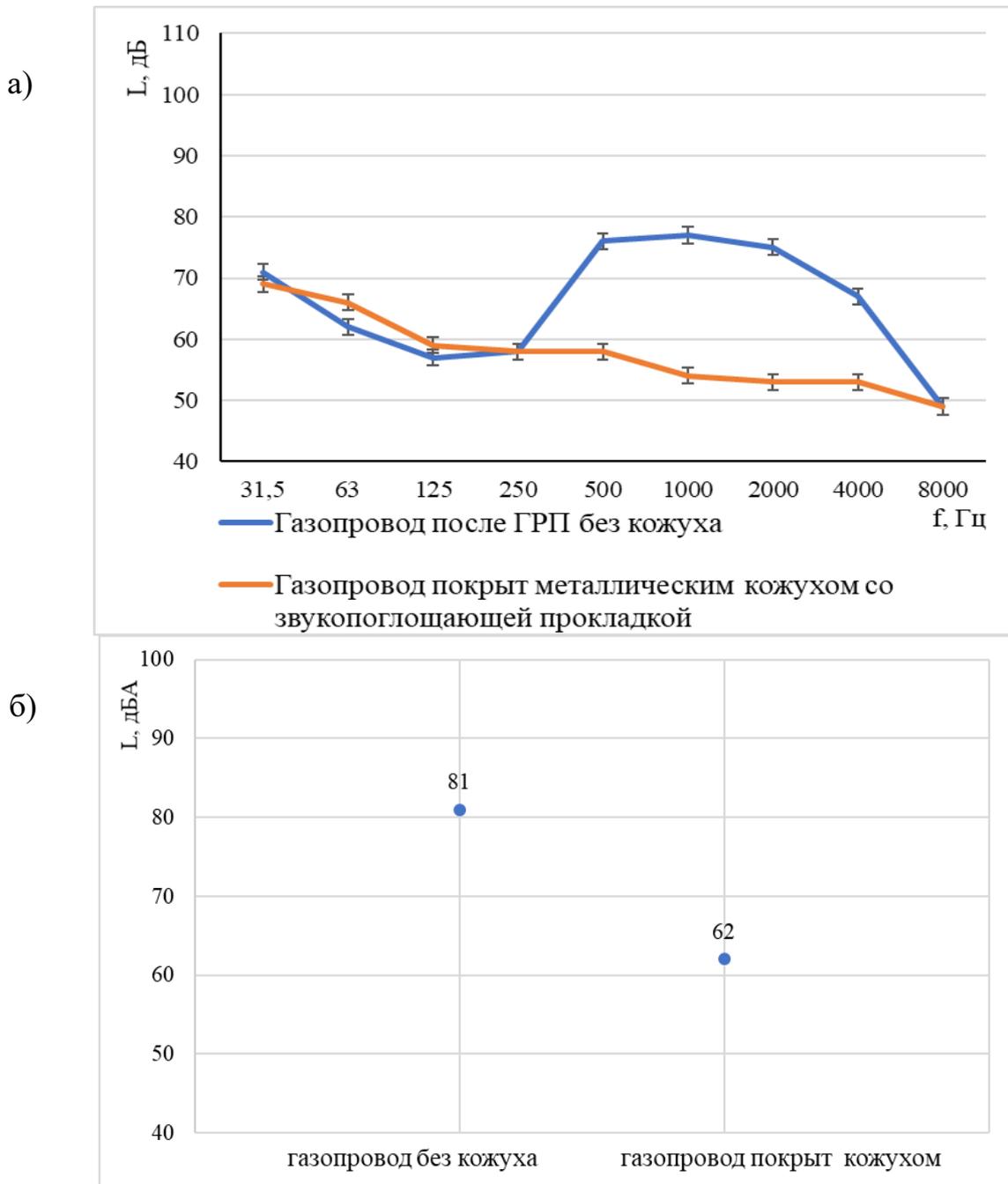
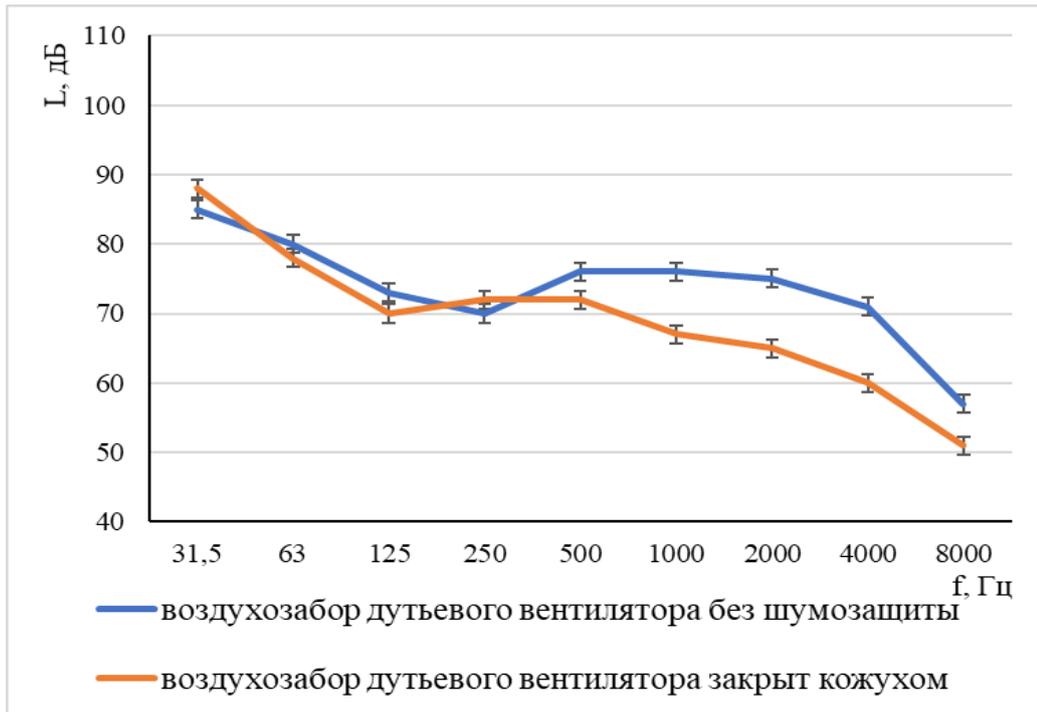


Рисунок 4.16 - Зависимость УЗД в октавных полосах частот (а) и уровня шума в ближнем акустическом поле (б) от установки металлических кожухов со звукопоглощающей прокладкой на газопровод

а)



б)



Рисунок 4.17 - Зависимость УЗД по октавным полосам частот (а) и уровня шума в ближнем акустическом поле (б) от установки звукоизолирующих кожухов на воздухозаборы дутьевых вентиляторов

4.4 Выводы по главе 4

1. Получены экспериментальные зависимости уровня шума вспомогательного энергетического оборудования районных котельных в ближнем акустическом поле от видов шумозащитных мероприятий: замена газового редуктора привела к снижению уровня шума с 107 дБА до 91 дБА; замена остекления снизила проникающий шум в окружающую среду на 8 дБА; покрытие наружного газопровода звукопоглощающим стальным кожухом снизило уровень шума с 81 дБА до 62 дБА; установка кожуха на систему всасывания дутьевого вентилятора привела к снижению уровня шума на 7 дБА.

2. На основе сравнения расчетных и измеренных значений уровней шума в контрольных точках определены показатели экологической эффективности предложенных решений. На открытой территории котельной максимальное снижение уровня шума составило 21 дБА, на территории жилого массива уровень шума снижен на 9-17 дБА.

3. При достигнутом значительном снижении уровня шума как на производственной площадке, так и на селитебной территории, внедренные мероприятия недостаточны. Разработанный комплекс технических решений для объекта теплоэнергетики должен быть реализован в полном объеме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что основными составляющими интегрального шума районных котельных являются шумы от вспомогательного оборудования: дымососов, дутьевых вентиляторов, газораспределительных пунктов, газопроводов, компрессорных установок, различных насосов. Уровень шума, излучаемый этим оборудованием в ближнем акустическом поле, может достигать 85-110 дБА.

2. Разработана расчетная модель акустического поля, создаваемого районной котельной «Савиново», адекватность модели подтверждена сравнением расчетных значений уровней звука с измеренными значениями, полученными в контрольных точках, что позволяет использовать расчетную модель для проведения численных исследований параметров шума.

3. Расчетами установлено, что для обеспечения санитарных норм по шуму в жилом массиве необходимо реализовать комплекс технических решений, стоимость которого составляет 42,4 млн. руб.

4. Получены экспериментальные зависимости уровня шума вспомогательного энергетического оборудования районных котельных в ближнем акустическом поле от видов шумозащитных мероприятий: замена газового редуктора привела к снижению уровня шума о 107 дБА до 91 дБА; замена остекления снизила проникающий шум в окружающую среду на 8 дБА; покрытие наружного газопровода звукопоглощающим стальным кожухом снизило уровень шума с 81 дБА до 62 дБА; установка кожуха на систему всасывания дутьевого вентилятора привела к снижению уровня шума на 7 дБА.

5. На основе сравнения расчетных и измеренных значений уровней шума в контрольных точках определены показатели экологической эффективности реализованных технических решений: на открытой территории котельной максимальное снижение уровня шума составило 21 дБА; на территории жилого массива - 9-17 дБА.

Итоги выполненного исследования, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективным является расширение разработанной научно-обоснованной стратегии снижения шума от предприятий отдельной выработки тепла на существующие системы теплоснабжения городов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзуманов Э.С. и др. Снижение шума и вибрации в регулирующих органах клапанов для высоких перепадов давлений / Арзуманов Э.С., Скрипченко В.Г., Нисман Л.Н. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1976. - 48 с.
2. Богданов С. А. Разработка эффективных звукопоглощающих конструкций для снижения шума газотурбинных двигателей и энергоустановок: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.05. - Самара, 2007.
3. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. Алексеев С.П., Казаков А.М. и Колотилов Н.Н. - М., «Машиностроение», 1970, - 208 с.
4. Борьба с шумом на производстве. Справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн и др. Под общ. ред. Е.Я. Юдина – М.: Машиностроение, 1985. – 400с.
5. Бочаров А.А., Колесник А.Г, Соловьев А.В. Акустические шумы урбанизированных территорий на примере г. Томска // Известия ТПУ, 2012. - №1. - С. 191-196
6. Буторина М. В. Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта. Общие требования и методы построения. / Буторина М. В. // Защита от повышенного шума и вибрации: матер. пятой всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Под ред. Н. И. Иванова. - СПб, 2015. - С. 106-114.
7. Васильев А.В. Мониторинг акустического загрязнения территории Самарской области // Защита населения от повышенного шумового воздействия: матер. второй всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Под ред. Н. И. Иванова. - СПб, 2014. - С. 148-159.
8. Васильев А.В. Шумовая безопасность урбанизированных территорий // Известия Самарского научного центра РАН. - 2014. - Т. 16. № 1-1. - С. 299-305.
9. Васильев А.В., Розенберг Г.С. Мониторинг акустического загрязнения селитебной территории г. Тольятти и оценка его влияния на здоровье населения // Безопасность в техносфере. - 2007. - № 3. - С. 9-12.

10. Васинева М.В. Проектно-конструкторские решения для защиты населения от шума // Научный журнал КУБГАУ, 2015. - №109(05).
11. Васинева М.В. Проектно-конструкторские решения для защиты населения от шума / М.В. Васинева // Экология производства. -2014. - №8. - С. 68-72.
12. Вибрация роторных машин. Гольдин А. С. -М.: Машиностроение, 1999. - 344 с.
13. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. Генкин М. Д., Соколова А. Г. -М.: Машиностроение, 1987. - 282 с.
14. Визуализация шумового загрязнения от ТЭС / Медведев В.Т., Тупов В.Б., Тараторин А.А., Тупов Б.В. // Электрические станции. - 2014. - №3.
15. Виноградов М.В., Кривошеин Ю.А., Добряков В.А. Диагностика оборудования по виброакустическим параметрам // Материалы и технологии XXI века: матер. XIII междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2015. С. 8-12.
16. Влияние высокочастотного шума (4000Гц) на показатели variability сердечного ритма / Ксенофонтова В.К., Левина Е.А., Левин С.В., Храмов А.В. // Noise Theory and Practice. – 2018. - № 3 (4). – С. 1-35.
17. Возможные пути снижения воздействия объектов теплоэнергетики на окружающую среду / Н.А. Зройчиков, В.Б. Прохоров, В.Б. Тупов, А.М. Архипов, М.В. Фоменко // Теплоэнергетика – 2015. – №2. – С. 69–76.
18. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Л.А. Рихтер, Д.П. Елизаров, В.М. Лавыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.
19. Выбор и расчет средств защиты от шума и вибрации: учеб.пособие / И.Г Трунова, А.Б. Елькин, В.М. Смирнова: НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2012. – 116 с.
20. Горбунова О.А. Моделирование акустического поля компрессорного оборудования и оценка эффективности акустического экрана // XI Междунар. молодежная науч. конф. «Тинчуринские чтения». – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2016. – С. 286.

21. Горбунова О.А. Моделирование шумового поля в окружающей среде как фактор улучшения условий жизнедеятельности людей // XXVI междунар. научно-практ. конф. «Предупреждение. Спасение. Помощь». – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2016. - С. 73-77.

22. Горбунова О.А. Определение исходных данных для выполнения проектно-конструкторских решений по защите населения от шумового загрязнения. / Горбунова О. А., Павлов Г. И. // Пятая всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Защита от повышенного шума и вибрации»: сб. мат. докл. под ред. Н. И. Иванова. - СПб: Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 2015. - С. 367-373.

23. Горбунова О.А. Оценка эффективности комплекса технических решений повышения экологической безопасности функционирования районных котельных // Инновационные подходы к решению проблем «Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий на 2015 – 2030 годы»: матер. междунар. научно-практ. конф. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2018. - С. 243-246.

24. Горбунова О.А. Проблема организации санитарно-защитных зон промышленных объектов // Пятый эколог. конгресса. «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ЕLPIT». - г. Самара-Тольятти: Самарский государственный технический университет, 2015. - С. 96-99.

25. Горбунова О.А. Разработка способов снижения влияния работы городской котельной на окружающую среду // XII Междунар. молодежная науч. конф. «Тинчуринские чтения». – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2017. - С. 21-22.

26. Горбунова О.А. Экспериментальное определение акустических характеристик компрессорного оборудования // XI Междунар. молодежная науч. конф. «Тинчуринские чтения». – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2016. – С. 287.

27. Горбунова О.А., Павлов Г. И. Разработка экспериментально-теоретической модели шумового поля энергетического оборудования ТЭС // Известия высших

учебных заведений. Проблемы энергетики: научно-технический и производственный журнал. - 2018. - № 5/6. - С. 84-92.

28. Горбунова О.А., Павлов Г.И. Моделирование процесса распространения шума энергетического оборудования на селитебной территории // Девятая всеросс. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения». – М: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2016. - С. 559-562.

29. Горбунова О.А., Павлов Г.И., Накоряков П.В. Разработка комплекса мероприятий по снижению шума оборудования энергетических объектов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. - 2018. - №4 (40). - С. 39-52.

30. Горбунова О.А., Павлов Г.И., Накоряков П.В. Разработка проектно-конструкторских решений снижения шума от котельной для защиты населения // Экология и промышленность России. – 2017. - Т.21. №10. - С. 44-49.

31. ГОСТ 12.1.003—83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. М.: Стандартинформ, 2008.

32. ГОСТ 17187-2010 Шумомеры. Часть 1. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2015.

33. ГОСТ 20444–2014. Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики. М.: Стандартинформ, 2015.

34. ГОСТ 23337-2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий. М.: Стандартинформ, 2015

35. ГОСТ 30690–2000. Экраны акустические передвижные. Методы определения ослабления звука в условиях эксплуатации. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

36. ГОСТ 31295.1-2005 Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой. М.: Стандартинформ, 2006.

37. ГОСТ 31295.2-2005 Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета. М.: Стандартинформ, 2006.

38. ГОСТ 31296.1-2005 (ИСО 1996-1:2003). Межгосударственный стандарт. Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 1. Основные величины и процедуры оценки. М.: Стандартинформ, 2006.

39. ГОСТ 31296.2-2006 (ИСО 1996-2:2007). Межгосударственный стандарт. Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 2. Определение уровней звукового давления. М.: Стандартинформ, 2008.

40. ГОСТ ISO 11204-2016 Шум машин. Определение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках с точными коррекциями на свойства испытательного пространства. М.: Стандартинформ, 2017.

41. ГОСТ ISO 3745-2014. Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Точные методы для заглушенных и полузаглушенных камер. М.: Стандартинформ, 2015.

42. ГОСТ Р 51943-2002. Государственный стандарт Российской Федерации. Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

43. ГОСТ Р 51943-2002. Государственный стандарт Российской Федерации. Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

44. ГОСТ Р 53187-2008. Национальный стандарт Российской Федерации. Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий. М.: Стандартинформ, 2009.

45. ГОСТ Р 54931-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2013.

46. ГОСТ Р ИСО 3741-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии

источников шума по звуковому давлению. Точные методы для реверберационных камер. М.: Стандартиформ, 2014.

47. ГОСТ Р ИСО 3743-1-2013 Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технические методы для малых переносных источников шума в реверберационных полях. Часть 1. Метод сравнения для испытательного помещения с жесткими стенами. М.: Стандартиформ, 2014.

48. ГОСТ Р ИСО 3744-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью. М.: Стандартиформ, 2014.

49. ГОСТ Р ИСО 3746-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над звукоотражающей плоскостью. М.: Стандартиформ. 2014.

50. Гусев В.П. Защита зданий и территорий застройки от аэродинамического шума систем вентиляции, кондиционирования воздуха и других газоздушных систем: дис. ... докт. технич. наук. – М, 2003. – 376 с.

51. Гусев В.П. Исследование особенностей методики измерения шумовых характеристик крупногабаритных тягодутьевых машин (отчет) / НИИСФ. - № ГР 02814001443. – М., 1981.

52. Гусев В.П., Сидорина А.В. Акустические характеристики покрытий на воздуховоды и технологические трубы// Строительные материалы. – 2015. - №6. – С. 35-38

53. Гусев В.П., Матвеева И.В., Соломатин Е.О. Компьютерное моделирование распространения шума от различных источников в городской застройке // Жилищное строительство. – 2014. - №8. – С. 25-28.

54. Демин В.М. Снижение шума, излучаемого трубопроводами обвязки нагнетателей, на компрессорных станциях магистральных газопроводов: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. - М., 2005.

55. Дроконов А.М., Дроконов А.Е. Снижение шума энергетических установок // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – №3. – С. 65–75.

56. Защита от шума в градостроительстве / Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков, А.А. Климухин и др.; Под ред. Г.Л. Осипова. – М.: Стройиздат, 1993. – 96 с.: ил. – (справочник проектировщика).

57. Заяц И.Б. Снижение шума при эксплуатации газораспределительных станций магистральных газопроводов: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. - Уфа, 2015.

58. Звукоизоляция и звукопоглощение: Учебн. пособие / Под ред. Г.Л. Осипова, В.Н. Бобылева. - М.: АСТ, 2004.

59. Зинкин В.Н. Современные проблемы производственного шума // Защита от повышенного шума и вибрации: матер. пятой всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Под ред. Н. И. Иванова. - СПб, 2015. - С. 36-56.

60. Иванов А.В., Кузьмицкий А.М., Никифоров А.В. Автоматизация расчета шума в помещениях с помощью программы АРМ «Акустика» 3D // Защита от повышенного шума и вибрации: матер. пятой всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Под ред. Н. И. Иванова. - СПб, 2015. - С. 449-454.

61. Иванов Н. И., Семенов Н. Г., Тюрина Н. В. Акустические экраны для снижения шума в жилой застройке // Безопасность жизнедеятельности. - № 4. - 2012.

62. Иванов Н. И., Семенов Н. Г., Тюрина Н. В. и др. Испытания акустических экранов в натуральных условиях // Защита населения от повышенного шумового воздействия: матер. третьей науч.-практ. конф. с междунар. участием. - СПб, 2013. - С. 52-88.

63. Иванов Н.И., Шашурин А.Е., Бойко Ю.С. Влияние материала на акустическую эффективность шумозащитных экранов // *Noise Theory and Practice*. – 2016. - № 4 (2). – С. 1-34.

64. Иголкин А.А. Разработка метода и средств снижения аэродинамического шума в пневматических и газотранспортных системах: дис. ... д-р техн. наук: 01.04.06. - Самара, 2014.

65. Инженерная акустика. Теория и практики борьбы с шумом: учебник / Н.И. Иванов. – 3-е изд. перераб. и доп. - М.: Логос, 2015. – 432 с.

66. Информационно-измерительная система для контроля технического состояния работающих механизмов по параметрам вибрации / Р.С. Сайтбаталова, Ю.В. Ваньков, В.А. Гаврилов, Н.К. Мифтахова // *Известия вузов. Проблемы энергетики*. -2012. -№3-4.

67. Кочергин А.В., Гармонов С.Ю. Воздействие физических антропогенных факторов на организм человека. - Казань., 2005. – 116 с.

68. Кочергин А.В., Павлова Н.В., Валеева К.А. Виброакустический контроль состояния газотурбинных двигателей // *Пром-Инжиниринг: матер. II междунар. науч.-техн. конф.* – Челябинск, 2016. - С. 56-59.

69. Ксензов М. В. Диагностика подводных газопроводов высокого давления при топливоснабжении энергетических комплексов: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.01. – Новочеркасск, 2017.

70. Кузьмицкий А.В., Никифоров А.В., Иванов А.В. Оценка акустического воздействия на территории жилой застройки и в помещениях с помощью программного комплекса АРМ «Акустика» 3D. // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. – 2014. - №3.

71. Кумулятивные медико-биологические эффекты сочетанного действия шума и инфразвука / Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Драган С.П., Ахметзянов И.М. // *Экология и промышленность России*. – 2012. - №3. – С. 6-49.

72. Левитский Н.И. Колебания в механизмах: Учеб. Пособие для втузов. – Наука. Гл. ред физ.-мат. Лит., 1988. – 336 с. ISBN 5-02-013811-8

73. Лысенко В.Г. О снижении уровня шума на ТЭС // Энергетика и электрификация. – 1991. – №4. – С. 14–16.

74. Марченко Е.М., Марченко М.Е., Мишенин Ю.Е. Совершенствование средств снижения шума на тепловых электростанциях // Теплоэнергетика. – 1999. – №12. – С. 49–52.

75. Марченко М.Е., Пермяков А.Б. Внедрение систем шумоглушения на тепловых электростанциях // Новые технологии. - М. – 1998. – С. 4–6.

76. Медведев В.Т. Обеспечение безопасности и комфортности жизнедеятельности человека путем снижения негативного влияния вибрации и шума электрических машин на окружающую среду: дисс. ... д-р техн. наук: 05.14.16. – М., 1997.

77. Михайлов В.Е., Хоменок Л.А., Яблоник Л.Р. Развитие технологий и средств шумозащиты энергетического оборудования // Теплоэнергетика. – 2010. – №1. – С. 55–60.

78. Моделирование источника и акустического поля тонального шума лопаточных машин / Тимушев С.Ф., Гаврилюк В.Н., Аксенов А.А., Клименко Д.В. // Noise Theory and Practice. – 2017. -№ 3 (3). – 60 с.

79. МУК 4.3.2194-07. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях. Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2007.

80. Оболочки и термочехлы для теплоизоляции оборудования. [Электронный ресурс]. URL: <https://i-shell.ru/sv> (дата обращения 03.12.2018).

81. Пат. 2106021 Рос. Федерация: G10K11/16. Панель, поглощающая акустическую энергию в области низких, средних и высоких частот, в частности энергию частот в диапазоне 400-5000 Гц / Ален Маниголд; Заявитель и правообладатель: Рот Фрер С.А. (FR)/ - №94028651/28 заявл. 05.08.1994; опубл. 27.02.1998.

82. Пат. 2265251 Рос. Федерация: G10K11/16. Многослойная шумопоглощающая панель / Паньков Л.А.; Заявитель и правообладатель: ЗАО «Тэкникал консалтинг» (RU)/ - №20031249501/28 заявл. 11.08.2003; опубл. 27.11.2005; бюл. №33.

83. Пособие к МГСН 2.04-97. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. М.: ГУП НИАЦ, 1998.

84. Поташев А.В., Поташева Е.В. Проектирование рабочих колес турбомашин на основе решения обратных краевых задач // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2015. - Т. 157, № 1. – С. 128-140.

85. Поташев А.В., Поташева Е.В. Учет вязкости в обратной задаче для решетки профилей на осесимметричной поверхности тока // Компрессорная техника и пневматика. – 2017. - №1. – С. 17-23.

86. Программа расчета акустического воздействия АРМ «Акустика». Руководство пользователя. [Электронный ресурс]. URL: <http://noiseview.ru/acoustic/about/> (дата обращения 10.12.2018).

87. Программный продукт Predictor Analyst. Softnoise GmbH: [Электронный ресурс]. 2013-2018. URL: <https://softnoise.com/pd/predictor.html> (дата обращения: 15.12.2018).

88. Регуляторы давления. ТМ Тартарини: [Электронный ресурс]. 1996-2018. URL: <http://тартарини.рф/production/> (дата обращения 20.11.2018)

89. Розанов Д.А., Тупов В.Б. Результаты расчетов уровней шума от оборудования ТЭС в зависимости от различных факторов // Акустика среды обитания: матер. первой всерос. конф. молодых ученых и специалистов. - М., 2016. - С. 143-151.

90. Савостьянова Л.В. Прогнозирование технического состояния паровых турбин для повышения эффективности ремонтной деятельности: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. – Томск, 2018.

91. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 09.08.2016, N 0001201608090016.

92. Светлов В.В. Расчет эффективности технологического шумозащитного экрана для снижения шума от воздухозаборных решеток компрессорных установок // Noise Theory and Practice. – 2017. - №4 (3). – С. 60-68.

93. Семин С.А Разработка методов снижения шума выхлопных тракторов ГТУ с котлами утилизаторами: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. - М., 2008.
94. Семин С.А., Тупов В.Б. Эффективные мероприятия по снижению шума от ТЭЦ и котельной // Защита от повышенного шума и вибрации: матер. пятой всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. - СПб, 2015. - С. 268-275.
95. Сейфельмлюкова Г.А., Чугунков Д.В., Суслов А.В. Снижение шума от крупных городских центральных тепловых пунктов в условиях реконструкции // Защита от повышенного шума и вибрации: матер. пятой всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. - СПб, 2015. - С. 201-208.
96. Скворцов А.Н., Савельев А.П., Пьянзов С.В. Оценка акустического загрязнения селитебной территории в г.Саранске // Вестник Мордовского университета. - 2016. - Т 26, №2. - С. 218-227. - DOI: 10.15507/0236-2910.026.201602.218-227.
97. 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 г.
98. СНиП 23-03-2003 Защита от шума. М.: ФГУП ЦПП, 2004.
99. Современные методы и средства виброакустического диагностирования машин и конструкций. Ф. Я. Балицкий, М. Д. Генкин, М. А. Иванова и др. под редакцией академика Фролова К. В. -М., 1990. 252 с.
100. СП 26.13330.2012 СНиП 2.02.05-87 Фундаменты машин с динамическими нагрузками. М.: Минрегион России, 2012.
101. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. М.: Минрегион России, 2010.
102. СП 89.13330.2012 Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76. М.: Минрегион России, 2012.
103. Специализированное программное обеспечение. АРМ «Акустика». ООО «ТехноПроект»: [Электронный ресурс]. 2007-2018. URL: <http://www.noiseview.ru/> (дата обращения: 15.12.2018)

104. Справочник «Промышленное газовое оборудование» / Под ред. Е. А. Карякина. — 5-е. — Саратов: Научно-исследовательский центр промышленного газового оборудования «Газовик», 2010. — 990 с. — ISBN 978-5-9758-1209-4.
105. СТО 70238424.27.100.017-2009 Тепловые электростанции. Ремонт и техническое обслуживание оборудования, зданий и сооружений. Организация производственных процессов. Нормы и требования. М.: НП ИНВЭЛ, 2009.
106. Схема теплоснабжения муниципального образования города Казани по 2033 год (проект). Пояснительная записка (утверждаемая часть). – Казань, 2017.
107. Съёмные термочехлы многоразового использования IZIFIX. [Электронный ресурс]. URL: http://www.tisys.ru/services/catalog/truboprovodiy_i_soed/semnye-termochekhly-mnogorazovogo-ispolzovaniya-izifix/ (дата обращения 03.12.2018).
108. Тараторин А.А. Исследование излучения шума паровыми струями различных параметров на ТЭС и разработка мероприятий по его снижению: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. - М., 2015.
109. Терехов А.Л. Исследование и снижение шума на компрессорных станциях магистральных газопроводов. - М.: ИРЦ Газпром, 2002. - 305 с.
110. Терехов А.Л. Снижение шума на компрессорных станциях в газовой промышленности: монография / А.Л. Терехов., Е.Н. Власов. – М.: ИРЦ Газпром, 2005. – 263 с.
111. Термочехлы. [Электронный ресурс]. URL: <https://венторус.рф/catalog/termochekhly/> (дата обращения 03.12.2018)
112. Термочехлы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.isomax.ru/chto-zaschischayut-termochehly/zapornaja-armatura.html> (дата обращения 03.12.2018)
113. Термочехлы многоразового использования. [Электронный ресурс]. URL: <http://austenitspb.ru/termochehly.html> (дата обращения 03.12.2018)
114. Тепловые и атомные электрические станции: Учебник для вузов / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 416 с., ил. - ISBN 5-283-00232-2.

115. Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы: Справочник / Под общ. ред. чл. – корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина – 3-е изд., перераб. – М.: Изд-во МЭИ, 1999 – 528 с.: ил.
116. Тупов В.Б. Способы снижения шума от водогрейных котлов РТС // Теплоэнергетика. - 1993. - № 1. - С. 45-48.
117. Тупов В.Б. Снижение шумового воздействия от оборудования в энергетике / Тупов В.Б. - М.: Изд-во МЭИ, 2004 г.
118. Тупов В.Б. Разработка методов снижения шумового загрязнения окружающей среды газовоздушными трактами тягодутьевых машин ТЭС: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. - М., 2015.
119. Тупов В.Б. Снижение шума от энергетического оборудования. / Тупов В.Б. - М.: Изд-во МЭИ, 2005. - 232 с.
120. Тупов В.Б., Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду: учебное пособие / Тупов В.Б. - М.: Издательский дом МЭИ, 2017. - ISBN 978-5-383-01196-6.
121. Тупов В.Б. Теоретические и практические вопросы создания малошумного энергетического объекта // Ученые записки физического факультета (УЗФФ) МЭИ. – 2017. - №5.
122. Тупов В.Б. Снижение шума от объектов большой и малой энергетики // Защита от повышенного шума и вибрации: матер. пятой всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. - СПб, 2015. - С. 57-66.
123. Федеральный Закон РФ №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г.
124. Федеральный Закон РФ №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 г.
125. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. - М.: Издательство МЭИ, 2002.
126. Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А. Сравнение результатов расчета автотдорожного шума жилого района г. Москвы, полученных при использовании трех программных средств. // Защита от повышенного шума и вибрации: матер. IV всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – СПб, 2013.

127. Чернов Н.С., Мурановский В.П. Устройство для снижения вибрации и шума в трубопроводных системах энергетических установок. Разработка и исследование // *Noise Theory and Practice*. – 2015. - № 1 (1). – 76 с.
128. Шабанов К.Ю. Разработка методики проектирования и конструкции комбинированного гасителя пульсаций давления для регуляторов газораспределительных станций: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.06. – Самара, 2016.
129. Шашурин А.Е. Определение эффективной высоты и акустических характеристик шумозащитного экрана // *Noise Theory and Practice*. – 2018. - № 2 (4). – 49 с.
130. Шишелова Т.И., Малыгина Ю.С., Нгуен Суан Дат. Влияние шума на организм человека // *Успехи современного естествознания*. – 2009. – № 8.
131. Шубин И.Л. Акустический расчет и проектирование конструкций шумозащитных экранов: дис. ... д-р техн. наук: 05.23.01. – М., 2011.
132. Шум. Расчетная модель: руководство пользователя. [Электронный ресурс]. URL: <https://есо-с.ru/ecology/программы-для-экологов/шум-эко-центр/> (дата обращения 02.12.2018).
133. Шумомер-виброметр, анализатор спектра Экофизика-110А. Руководство по эксплуатации. ПКДУ.411000.001.02 РЭ, Приборостроительное Объединение «Октава-ЭлектронДизайн» ООО «ПКФ Цифровые приборы».: М., 2011.
134. «Эколог-Шум» Компания "Интеграл": [Электронный ресурс]. 1990-2018. URL: <http://integral.ru/shop/cargo/141.html> (дата обращения: 15.12.2018).
135. Яблоник Л.Р. Шумозащитные конструкции турбинного и котельного оборудования: теория и расчет: дис. ... докт. техн. наук: 05.04.12. - СПб., 2004.
136. Яременко С.А. Повышение эффективности глушителей аэродинамического шума систем вентиляции: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03. - М., 2008.
137. Alts, T. The significance of anisotropy for the acoustical effectiveness of visco-elastic foams // *Unikeller Conference*. 1989. E8. P. 1–14.
138. Arenas J. P. Use of Barriers: Handbook Noise and Vibration Control/ Ed. Malcolm J. Crocker; John Willy, N/Y, 2007;

139. Beranek, L.L. Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications [Text] / L.L. Beranek // Second Edition, Istvan, 2006.
140. Berry B. F. and Bisping R. CEC joint project in impulse noise: Physical quantification methods Proc. 5Th Intl. Congresson Noise as a Public Healhe Problem, 1998;
141. Bies, D.A. Engineering noise control [Text] / D.A. Bies, C.H. Hansen. – London and New York.: Spoon Press, 2003. – 745 p.
142. Gorbunova O A Relationship between the technical condition of the equipment of heat and power engineering units and the noise level in the environment. / O.A. Gorbunova, G.I. Pavlov, P.V. Nakoryakov and Yu.I. Khakimzyanova // E3S Web Conf., 124 (2019) 05062. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405062>
143. Felicia Doggett, Sooch San Souci. Animal Stress Due to Noise and Vibration. Noise Theory and Practice. 2018; 3 (4): 1-35
144. Handbook of Noise and Vibration Control / Ed. Malcolm J. Crocker. N.Y.: John Wiley and Sons, 2007
145. ISO 9613-2:1996 Noise. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2. General method of calculation
146. Monsen, J. Valve Noise Reduction Strategies [Online.] available: <http://valin.com/index.php/blog/14-fluid-management-/311-valve-noisereduction-strategies>. – 2011
147. Night noise guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2009
148. Norton, M.P. Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers [Text] / M.P. Norton // First Edition, Cambridge University Press. – 1989.
149. RMV-SRM II Standard rekenmethode 2 van het Reken en Meetvoorschrift Verkeerslawaaai
150. Wachel, J.C. Piping vibration analysis [Text] / J.C. Wachel, S.J. Morton, K.E. Atkins // Proceedings of the nineteenth turbo machinery symposium. – 1990.

Приложение А

Таблица 1 - Ориентировочные шумовые характеристики оборудования ТЭС для предварительных расчетов внутри помещений

Оборудование	Уровни звуковой мощности, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Характер шума
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Турбина газовая	105 - 115	110 - 120	105 - 120	105 - 120	100 - 115	100 - 115	100 - 120	100 - 120	95 - 125	Широкополосный, с тональными составляющими
Турбина паровая	125 - 130	125 - 130	120 - 125	120 - 125	120 - 125	115 - 120	115 - 120	110 - 115	100 - 105	То же
Редукционно-охлаждающая установка (РОУ)	100 - 105	100 - 105	95 - 100	95 - 100	95 - 105	110 - 115	110 - 120	110 - 120	110 - 120	Широкополосный, постоянный
Углеразмольное оборудование	110 - 120	110 - 120	115 - 125	115 - 125	115 - 125	110 - 120	105 - 115	105 - 110	100 - 110	То же
Котлы паровые	120 - 125	115 - 125	115 - 125	115 - 125	115 - 125	110 - 120	105 - 115	105 - 115	95 - 105	То же
Котлы-утилизаторы	110 - 115	105 - 115	105 - 115	105 - 115	105 - 115	100 - 110	95 - 105	95 - 105	85 - 95	То же
Компрессор	100 - 110	100 - 110	110 - 120	100 - 110	95 - 105	100 - 110	95 - 105	95 - 105	95 - 105	Широкополосный, с тональными составляющими
Насос питательный	95 - 105	95 - 105	95 - 105	115 - 125	110 - 120	110 - 120	105 - 115	90 - 100	90 - 100	То же
Насос конденсатный	95 - 105	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 105	90 - 100	90 - 100	90 - 95	90 - 95	То же
Насос сетевой	100 - 110	100 - 110	100 - 110	100 - 110	100 - 110	105 - 115	100 - 110	95 - 105	90 - 100	То же

Оборудование	Уровни звуковой мощности, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Характер шума
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Насос циркуляционный	80 - 90	80 - 90	85 - 95	95 - 105	100 - 105	90 - 100	90 - 100	85 - 95	75 - 85	То же
Насос багерный	100 - 110	100 - 110	100 - 110	95 - 105	90 - 100	100 - 105	95 - 100	80 - 90	80 - 90	То же
Деаэрационная установка	80 - 85	80 - 85	85 - 90	90 - 95	95 - 100	100 - 105	105 - 110	100 - 105	95 - 100	Широкополосный, постоянный
Паропроводы	80 - 85	85 - 90	90 - 95	90 - 95	100 - 105	105 - 110	110 - 115	105 - 110	100 - 105	То же
Синхронный компенсатор	110 - 115	100 - 105	105 - 115	90 - 95	85 - 95	85 - 95	85 - 95	80 - 90	80 - 90	То же
Вентилятор приточно-вытяжной вентиляции	100 - 105	100 - 105	100 - 105	100 - 110	100 - 110	95 - 105	95 - 105	90 - 100	80 - 90	Широкополосный, с тональными составляющими, постоянный

Таблица 2 -Ориентировочные шумовые характеристики оборудования ТЭС для предварительных расчетов на открытом воздухе

Источник шума	Уровни звуковой мощности, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Характер шума
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Сброс пара в атмосферу	130 - 135	140 - 145	145 - 150	150 - 155	155 - 160	160 - 165	160 - 165	155 - 160	150 - 155	Широкополосный, прерывистый
Воздухозабор (без глушителя) газовой турбины	100 - 130	105 - 125	105 - 120	110 - 135	115 - 135	120 - 150	120 - 150	130 - 150	135 - 145	Широкополосный, с тональными составляющими, постоянный
Воздухозабор (без глушителя) дутьевого вентилятора	90 - 95	90 - 95	80 - 85	70 - 75	65 - 70	65 - 70	60 - 65	60 - 65	60 - 65	То же

Источник шума	Уровни звуковой мощности, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Характер шума
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Устье трубы (без глушителя) с металлич. стволами от газовой турбины	130 - 140	130 - 145	130 - 150	130 - 145	135 - 145	135 - 145	135 - 150	135 - 150	130 - 145	То же
Устье трубы (без глушителя) с металлич. стволами от котла-утилизатора ГТУ или ИГУ	120 - 130	120 - 135	120 - 140	120 - 135	125 - 135	125 - 135	120 - 135	115 - 130	105 - 120	То же
Устье трубы (без глушителя) с металлич. стволами от осевых дымососов	120 - 125	120 - 125	125 - 130	125 - 130	125 - 135	125 - 135	125 - 130	120 - 125	105 - 115	То же
Устье трубы (без глушителя) с металлич. стволами от центробежных насосов	110 - 120	110 - 120	105 - 110	110 - 115	110 - 115	105 - 110	100 - 105	95 - 100	90 - 95	То же
Устье трубы (без глушителя) с металлич. стволами от водогрейных котлов	115 - 120	115 - 120	115 - 120	105 - 110	100 - 105	90 - 95	80 - 85	70 - 75	60 - 65	То же
Устье трубы (без глушителя), футерованной внутри кирпичом от осевых дымососов	100 - 115	100 - 115	105 - 110	105 - 110	95 - 105	95 - 105	90 - 100	80 - 90	70 - 80	То же
Устье трубы (без глушителя), футерованной внутри кирпичом от центробежных насосов	100 - 105	100 - 105	90 - 95	80 - 90	70 - 85	70 - 80	70 - 75	60 - 70	55 - 60	То же
Газораспределительный пункт (ГРП)	90 - 95	85 - 95	90 - 100	90 - 100	95 - 105	105 - 115	110 - 120	105 - 115	100 - 110	Широкополосный, постоянный
Газопроводы после ГРП	75 - 85	80 - 90	85 - 95	85 - 95	95 - 105	100 - 110	105 - 115	100 - 110	95 - 105	То же
Корпус тягодутьевой машины осевой (без изоляции)	105 - 115	105 - 115	110 - 120	110 - 120	110 - 120	110 - 120	105 - 115	100 - 110	95 - 105	Широкополосный, с тональными составляющими, постоянный

Источник шума	Уровни звуковой мощности, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Характер шума
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Корпус тягодутьевой машины осевой (с изоляцией)	95 - 105	95 - 105	100 - 110	90 - 100	90 - 100	90 - 100	85 - 95	70 - 80	65 - 75	То же
Корпус тягодутьевой машины центробежной (без изоляции)	90 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100	80 - 90	То же
Корпус тягодутьевой машины центробежной (с изоляцией)	80 - 90	80 - 90	80 - 90	70 - 80	70 - 80	70 - 80	70 - 80	60 - 70	60 - 70	То же
Силовые трансформаторы (ОРУ)	95 - 100	95 - 100	100 - 105	90 - 100	85 - 95	85 - 95	80 - 90	80 - 85	70 - 75	То же
Градирия	90 - 95	90 - 95	90 - 95	95 - 100	95 - 100	100 - 105	100 - 105	100 - 105	100 - 105	То же
Шум, проникающий из помещений котлотурбинного цеха	80 - 85	75 - 80	75 - 80	70 - 75	65 - 70	65 - 70	50 - 55	45 - 50	40 - 45	Широкополосный, постоянный, имеет направленный характер
Шум, проникающий из помещений угледробилки	115 - 120	115 - 120	105 - 110	105 - 110	105 - 110	105 - 110	100 - 105	90 - 95	75 - 80	Широкополосный, постоянный
Шум, проникающий из помещений компрессорной	95 - 100	95 - 100	105 - 110	95 - 100	90 - 95	95 - 100	90 - 95	90 - 95	90 - 95	Широкополосный, постоянный, с тональными составляющими, прерывистый

