

На правах рукописи



Кузьмина Светлана Андреевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕР ПО СНИЖЕНИЮ ШУМА НА
ПУТЯХ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОТ ГРП**

Специальность 05.14.01 Энергетические системы и комплексы
(технические науки)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2021

Работа выполнена на кафедре тепловых электрических станций федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Научный руководитель:

Тупов Владимир Борисович

доктор технических наук, профессор кафедры
тепловых электрических станций ФГБОУ ВО
«НИУ «МЭИ»
директор НОЦ «Снижение шума
энергетического оборудования»

Официальные оппоненты:

Комкин Александр Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры
экологии и промышленной безопасности
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Семин Сергей Александрович

кандидат технических наук, советник
генерального директора Angara Technologies
Group (ООО «АТ Групп»)

Ведущая организация:

Всероссийский теплотехнический институт
(ОАО ВТИ)

Защита диссертации состоится «30» сентября 2021 г. в 14 часов 00 мин. на заседании диссертационного совета МЭИ.014 при ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» по адресу: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1, Зал Ученого совета НИУ «МЭИ».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр.1 Ученый Совет ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Автореферат разослан 30 августа 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета МЭИ.014
к.т.н., доцент

Е.И. Мерзликина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Среди физических факторов, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям на объектах, расположенных на территории жилой застройки, больше всего выделяется акустический шум. Жители мегаполисов наиболее подвержены шумовому воздействию. Например, в Москве в зоне акустического дискомфорта проживает более 30% населения.

Шум оказывает на организм человека глубокое негативное воздействие. Замедляются психические реакции, повышается утомляемость, нарушается обмен веществ. Человек становится раздражительным, у него может изменяться темп дыхания и пульса. На глубинном уровне шум может являться причиной изменений в центральной нервной системе, которые, в свою очередь, влияют на расстройство органов и систем в организме человека.

Объекты энергетики (ТЭС, РТС, трансформаторные подстанции и т.д.) являются интенсивными источниками шума для окружающего района. Из-за высокой плотности городской застройки ТЭЦ часто находятся внутри больших жилых районов, что может приводить к превышению действующих санитарных норм СанПиН 1.2.3685-21 по фактору шума.

На территории станции расположено много объектов, излучающих повышенный шум. Однако одним из наименее изученных источников шума на ТЭЦ в настоящее время является газорегуляторный пункт (далее – ГРП) и газопроводы после него. Шум на выходе из здания ГРП и по всей длине газопровода может превышать действующие нормативы и составлять до 110 дБА вместо положенных 80 дБА.

Излучение шума от ГРП и газопроводов после него имеет свои особенности, из-за которых отсутствует возможность рассматривать их как классические линейные источники транспортного шума или источники шума от одиночных точечных объектов.

Одними из мероприятий по снижению шума от ГРП и газопроводов после него являются установка акустических экранов и использование звукоизоляционных материалов. Реализация мероприятий по шумоглушению для ГРП и газопроводов после него требует значительных средств. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка метода расчета по нахождению минимальных удельных дисконтированных затрат для снижения шума от газопровода с помощью совместного использования акустических экранов и звукоизоляции, проведенная в данной работе.

Степень проработанности темы.

Большой объем исследований в области снижения шума был выполнен такими русскими учеными как Е.Я. Юдин, А.Л. Терехов, Н.И. Иванов, Г.Л. Осипов, А.Е. Шашурин, В.Т. Медведев, Г.А. Хорошев, И.Л. Шубин, И.Е. Цукерников, Н.В. Тюрина, А.И. Комкин, В.И. Зинченко, Н.Г. Семенов, З. Маекава, У. Курце, К. Ямамото, М. Ретингер и другие.

Снижением шума на объектах энергетики непосредственно занимались такие ученые как Ф.Е. Григорьян, Е.А. Перцовский, В.Б. Тупов, В.М. Демин, А.Л. Терехов, А.Н. Колотовский, И.И. Велиюлин, В.Ф. Асминин, Л.А. Борисов, Л.Р. Яблоник, Г.А. Михайлов и другие.

Несмотря на это, в области диссертационного исследования в настоящий момент осталось достаточное количество нерешенных вопросов, требующих дальнейшей проработки.

Объект исследования: предприятия комбинированной выработки электрической энергии и тепла, являющиеся подразделениями ПАО «Мосэнерго», ООО «ТСК Мосэнерго» и ООО «Калининградская генерация».

Цель работы – исследование и разработка мер по снижению шума на путях его распространения от ГРП и газопроводов после него.

Для достижения поставленной цели диссертации автором проведен комплекс работ, направленных на решение следующих **задач**:

- анализ нормативно-правовых основ в области шумоглушения для оценки наличия механизмов управления и внедрения мероприятий по шумоглушению на производственных предприятиях;

- определение геометрических размеров акустических экранов вокруг ГРП и газопроводов после него, необходимых для достижения максимальной эффективности экрана при минимальной высоте;
- определение области эффективности использования акустических экранов для снижения шума от газопроводов после ГРП;
- исследование влияния технологических проемов на акустическую эффективность экрана;
- разработка метода расчета по нахождению минимальных удельных дисконтированных затрат для снижения шума от газопровода с помощью совместного использования акустических экранов и звукоизоляции.

Научная новизна

1. Определена область эффективности использования акустических экранов для снижения шума от газопроводов после газорегуляторного пункта. Определены основные параметры акустических экранов вокруг ГРП и газопроводов после него для достижения максимальной эффективности.
2. Определено влияние размеров технологических проемов на снижение акустической эффективности экранов вокруг ГРП и получена зависимость направленности излучения шума через технологические проемы в акустических экранах от ГРП.
3. Разработан метод расчета минимальных удельных дисконтированных затрат для снижения шума от газопровода с помощью совместного использования акустических экранов и звукоизоляции газопроводов.

Теоретическая значимость работы заключается в дополнении и расширении имеющихся теоретических и экспериментальных данных в области излучения шума от ГРП и газопроводов на выходе из него, разработке мероприятий по шумоглушению от ГРП и газопроводов после него на базе разработанного нового метода расчета по нахождению минимальных удельных дисконтированных затрат для снижения шума при совместном использовании акустических экранов и звукоизоляции.

Практическая значимость работы и внедрение ее результатов

1. Разработаны рекомендации по определению основных параметров акустических экранов вокруг ГРП и газопроводов после него для достижения максимальной эффективности. Построены трехмерные графики зависимости акустической эффективности экрана от его высоты и расстояния от экрана до расчетной точки при фиксированном расстоянии от ГРП до экрана.
2. Разработаны рекомендации по определению размеров технологических проемов, влияющих на снижение акустической эффективности экранов вокруг ГРП, и по расчету направленности излучения шума через технологические проемы в акустических экранах от ГРП.
3. Разработаны и внедрены мероприятия по снижению шума до санитарных норм при одновременном использовании акустических экранов и звукоизоляции газопроводов.
4. Предложен для практического применения метод определения минимальных удельных дисконтированных затрат на внедрение мероприятий по снижению шума при одновременном использовании акустических экранов и звукоизоляции газопроводов.

Методология и методы диссертационного исследования

Для решения поставленных научных задач использовались следующие методы научного познания: анализ, синтез, математическое моделирование, статистическая обработка, обобщение экспериментальных данных. Для определения уровней звукового давления на действующих станциях проводились практические измерения с помощью анализатора шума «SOUNDBOOK». Для проведения акустических расчетов использовалась голландско-немецкая программа Predictor.

Достоверность и обоснованность выводов и результатов работы подтверждается применением аттестованных измерительных приборов, современных расчетных программных

комплексов, сходимостью расчетных результатов и экспериментальных данных, согласованностью полученных результатов с результатами исследований других авторов.

Положения, выносимые на защиту

1. Геометрические размеры акустических экранов вокруг ГРП, обеспечивающие достижение максимальной эффективности экрана при минимальной высоте.
2. Влияние технологических проемов на снижение акустической эффективности экранов вокруг ГРП.
3. Зависимость изменения направленности излучения шума от технологических проемов в акустических экранах около ГРП.
4. Область эффективности использования акустических экранов для снижения шума от газопроводов после ГРП.
5. Новый метод расчета по нахождению минимальных удельных дисконтированных затрат для снижения шума с помощью совместного использования акустических экранов и звукоизоляции.

Личный вклад автора

Все разработки и научные результаты, выносимые на защиту и изложенные в тексте диссертации и автореферата, получены автором лично под научным руководством д.т.н., проф. Тупова В.Б. Вклад автора состоял в проведении обзора и анализа научно-технической литературы, проведении измерений параметров шума на действующих энергетических объектах, измерении уровня шума в жилых районах; анализе полученных экспериментальных данных, разработке математической модели распространения шума от газорегуляторного пункта и газопроводов после него, проведении сравнительного анализа опытных и теоретических данных, определении параметров эффективности установки акустических экранов вокруг ГРП и вдоль газопровода, разработке нового метода расчета нахождения минимальных удельных дисконтированных затрат на совместные мероприятия по снижению шума с помощью установки экранов и звукоизоляции; проведении анализа полученных технических и финансово-экономических данных.

Публикации по работе

Основные результаты работы изложены в 14 публикациях, из них 4 - в журналах из перечня ВАК, 3 – в международной реферативной базе данных и системе цитирования Scopus, и 7 докладах в сборниках трудов международных научных конференций.

Апробация результатов

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных конференциях: Двадцать четвертой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Москва, 2018 г.), Третьей Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетике» (Москва, 2020 г.), Двадцать седьмой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Москва, 2021 г.).

Диссертационные исследования автора поддержаны грантом в области фундаментальных исследований РФФИ «Аспиранты» № 19-3890093.

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.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 128 позиций, и одного приложения. Объем работы составляет 134 страницы, включая 34 рисунка и 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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 проведен анализ действующей законодательной базы в области шума, определен основной объект исследования и даны его основные характеристики, представлены результаты проведенных натурных измерений на действующих энергетических объектах.

Основными нормативными документами, носящими обязательный характер, внесенными в Технический регламент о безопасности зданий и сооружений и регламентирующими нормирование измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий, являются:

1. ГОСТ 23337 – 2014 «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий»;
2. СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003».

Классификация шумов, нормируемые параметры и предельно допустимые уровни шума на рабочих местах, допустимые уровни шума в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки устанавливаются в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Также 1 марта 2021 года был введен в действие новый СанПиН 1.2.3685-21, который подтверждает актуальность нормативов по шуму на РМ и вводит новые нормативы для факторов среды обитания человека.

Анализ действующей законодательной базы и нормативно-правовой документации по шумовому воздействию, измерению шума и выбору мероприятий по шумоглушению показал, что в настоящее время нормативно-правовая база по шумовому воздействию является достаточной на территории РФ.

В качестве объекта исследования выбран газорегуляторный пункт и газопровод после него, которые являются одними из интенсивных источников шумового воздействия на ТЭС. Расположение ГРП регламентируется в соответствии с СП 62.13330.2011. ГРП на мощных станциях располагается в отдельном здании. Расстояние от отдельно стоящих ГРП по горизонтали до зданий и сооружений должно составлять не менее 10 м в соответствии с указанным СП. При этом по ранее полученным данным известно, что уровень шума внутри здания может достигать 125дБА, что значительно превышает установленные нормативами 80 дБА и болевой порог слышимости 110 дБА.

В процессе выполнения работы проведены натурные измерения на действующих энергетических объектах. Акустические измерения проводились в соответствии с ГОСТ 31296.1-2005, который закончил свое действие 01.04.2020 года и заменен на ГОСТ Р ИСО 1996-1-2019. Полученные значения уровней звукового давления сравнивались с допустимыми нормами по шуму, представленными СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Измерения проводились анализатором шума и вибрации «SOUNDBOOK» в соответствии с действующими нормативами. Предел допускаемой погрешности измерений уровня звукового давления в режиме шумомера составляет $\pm 0,7$ дБ.

В соответствии с соглашениями объекты, на которых проводились измерения, обозначены. Мною были проведены измерения на объекте А, ПАО «Мосэнерго»; объекте Б, ООО «ТСК Мосэнерго»; объектах В и Г, ООО «Калининградская генерация». Также мне представилась возможность ознакомиться с результатами измерений на Объекте Д, входящем в состав ПАО «ЮНИПРО».

В зависимости от объекта измерения проводились возле ГРП, вдоль газопровода и на границе зоны жилой застройки. Пример результатов измерений представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты натурных измерений на действующих станциях

Точки измерений	Уровень звука, дБА	Уровни звукового давления, дБ, на среднегеометрических частотах, Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Допустимые нормы для рабочих зон	80	107	95	87	82	78	75	73	71	69
Объект Б										
Помещение внутри ГРП	113,4	73,9	71,6	73,8	84,2	98,0	107,9	108,6	106,4	93,4
<i>превышение</i>	33,4	-	-	-	2,2	20,0	32,9	35,6	35,4	24,4
<i>расширенная неопределенность</i>	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
Газопровод на выходе из ГРП	94,1	81,5	77,9	73,9	75,9	83,1	89,9	88,7	85,7	72,6
<i>превышение</i>	14,1	-	-	-	-	5,1	14,9	15,7	14,7	3,6
<i>расширенная неопределенность</i>	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
Газопровод по длине	92,8	84,1	81,3	73,3	73,4	80,4	88,9	87,6	83,5	69,9
<i>превышение</i>	12,8	-	-	-	-	2,4	13,9	14,6	12,5	0,9
<i>расширенная неопределенность</i>	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Газопровод на входе в здание котельной	91,9	87,8	86,3	76,2	72,3	80,4	88,2	86,4	82,5	68,8
<i>превышение</i>	11,9	-	-	-	-	2,4	13,2	13,4	11,5	-
<i>расширенная неопределенность</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Результаты проведенных измерений на вышеуказанных объектах энергетики и анализ работ других авторов показывают, что для обеспечения требуемых санитарных нормативов на территории вышеуказанных станций и в окружающих жилых районах требуется осуществлять комплекс мероприятий по снижению шума от ГРП и газопровода после него.

Акустические экраны являются одним из основных источников снижения шума от ГРП. Теоретически их предельная эффективность не превышает 20 дБ. Поскольку на практике требуемое снижение шума может быть больше, то требуется комплекс мер по снижению шума. В данной работе рассмотрены мероприятия по снижению шума от ГРП и газопровода после него с помощью акустических экранов и звукоизоляции.

Вторая глава посвящена проработке вопросов, связанных с особенностями снижения шума от газорегуляторного пункта, приведен обзор существующих методов расчета шума от ГРП, рассмотрены методики расчета акустической эффективности использования экранов для снижения шума от ГРП.

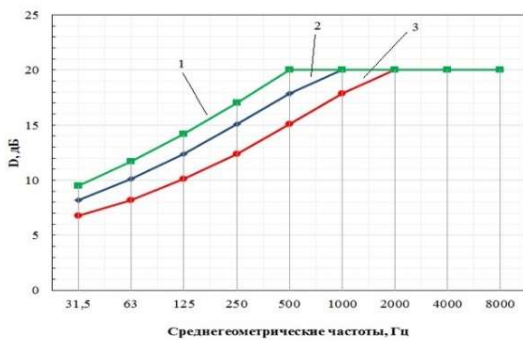


Рисунок 1 – Затухание шума от экрана в зависимости от его высоты, где h – высота экрана: 1 - 10 м; 2 - 8 м; 3 - 6 м; высота расчетной точки (выход газопровода из здания ГРП) – 1,5 м.

Проведен акустический расчет, позволивший определить минимальную высоту экрана, при котором обеспечивается его максимальная эффективность. Для этого проведены расчеты по определению затухания шума от экранов разной высоты здания ГРП. Для проведения акустических расчетов использовалась программа Predictor – разработка голландско-немецкой фирмы Softnoise. Исходные данные для расчетов, проводимых в работе, взяты с действующей ТЭС.

Источником шума установлена точка выхода газопровода из здания ГРП. Высота расположения расчетной точки – 1,5 м над уровнем земли, расстояние между расчетной точкой и экраном составило 300 м. Высота акустического экрана принята равной 6 м, 8 м и

10 м. На рисунке 1 видно, что наибольшее затухание на экране D_z происходит на высоких частотах, наименьшее – на низких. Таким образом полученные результаты полностью подтверждают данные, ранее полученные в других работах.

Определена эффективность использования акустических экранов во взаимной зависимости от высоты экрана и расстояния до расчетной точки. Поставленная цель была в построении уникального трехмерного графика, который позволит анализировать эффективность установки экрана. Для построения трехмерных графиков произведен расчет в программе MathCad. Высота экрана составила H - 3; 5; 8 м. Расстояние от ГРП до экрана принято 10 м. Расчетные точки расположены от экрана на расстоянии d , равном 3, 50, 100, 300 и 500 м. Высоты источника шума и расположения расчетной точки равны 1,5 м. В ходе проведения расчетов также возникла необходимость проведения оценки зависимости эффективности использования экранов для высоких и низких частот. Акустический расчет проводился в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 63 до 8000 Гц. Такой анализ результатов расчетов представляется впервые.

Полученные на рисунках 2.а и 2.б 3D-графики помогли оценить зависимость величины затухания шума на экране от его высоты и расположения расчетной точки. На рисунке 2.а представлен график зависимости при среднегеометрической частоте $f=500$ Гц, а на рисунке 2.б – для $f=1000$ Гц. Сделан вывод, что с увеличением частоты акустическая эффективность экранов возрастает. В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 максимальное превышение санитарных норм имеет место на среднегеометрической частоте 1000 Гц.

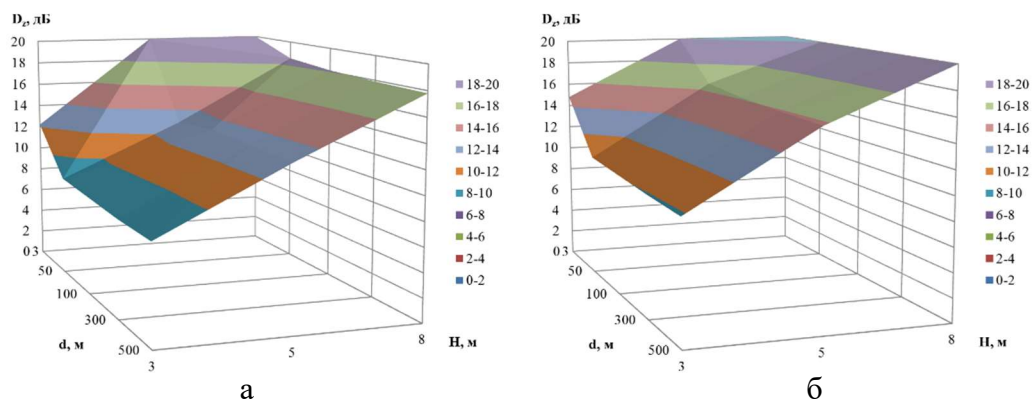


Рисунок 2 – Затухание шума D_z в зависимости от высоты экрана H - 3; 5; 8 м при среднегеометрических частотах $f=500$ Гц (а) и $f=1000$ Гц (б), расчетные точки расположены на расстояниях $d=3, 50, 100, 300$ и 500 м

С помощью простейшего подсчета определено, что необходимая высота экрана для получения максимального затухания 20 дБ на среднегеометрической частоте 1000 Гц при расположении экрана на расстоянии 10 м от ГРП и 300 м от расчетной точки должна быть не меньше 7,4 м. Также необходимо отметить, что для разных частот в зависимости от расстояния акустическая эффективность будет меняться. Так, например, для частоты 500 Гц максимальное затухание 20 дБ достигается только для расстояния 3 м от экрана. Из полученных данных можно сделать вывод, что использование только экрана для обеспечения санитарных норм для производственных зон в 80 дБА около здания ГРП является недостаточным.

Проработан вопрос влияния технологических проемов и их размеров на акустическую эффективность экрана, а также рассмотрено изменение направленности шума в зависимости от ширины проема и установки дополнительных экранов. При проектировании акустического экрана часто нужно предусмотреть наличие технологических проемов, которые необходимы для проезда техники и прохода обслуживающего персонала. Для решения данной задачи в области эффективности использования акустических экранов с технологическими проемами для энергетического оборудования на ТЭС была проведена оценка, как наличие

технологических проемов оказывает влияние на акустическую эффективность экранов, определены допустимы габариты проемов.

В рамках ответа на поставленный вопрос рассмотрено три случая технологических проемов (рисунок 3):

- проем имеет место в одной из сторон периметра вокруг ГРП (рис 3.а);
- напротив проема устанавливается дополнительно прямой акустический экран (рис 3.б);
- напротив проема устанавливается дополнительно Г-образный акустический экран (рис 3.в).

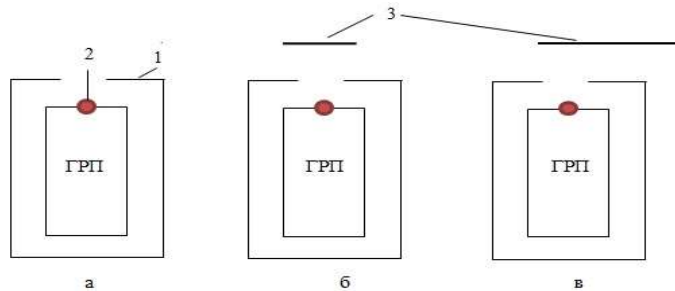


Рисунок 3 – Схемы расположения акустических экранов и технологических проемов: 1 - экран; 2 - точка выхода газопровода из здания ГРП; 3 - дополнительные экраны

Высота экрана принята равной $h=5$ м, высота источника шума (выход газопровода после ГРП) равняется $H=1,5$ м. Расстояние от точки выхода газопровода из здания ГРП до экрана - 10 м. Ширина технологического проема принята равной 2 м. По итогам расчетов получены изолинии значений уровней звука в зависимости от расстояния до источника шума (рисунок 4б). Результаты сравнивались со значениями, когда технологический проем в экране отсутствовал (рисунок 4а).

Сделан вывод, что наличие проема снижает акустическую эффективность экрана на 17,9 дБА рядом с экраном и на 14,5 дБА при расположении расчетной точки от экрана на расстоянии 300 м от него. Поэтому технологические проемы целесообразно делать в сторону, противоположную жилому району.

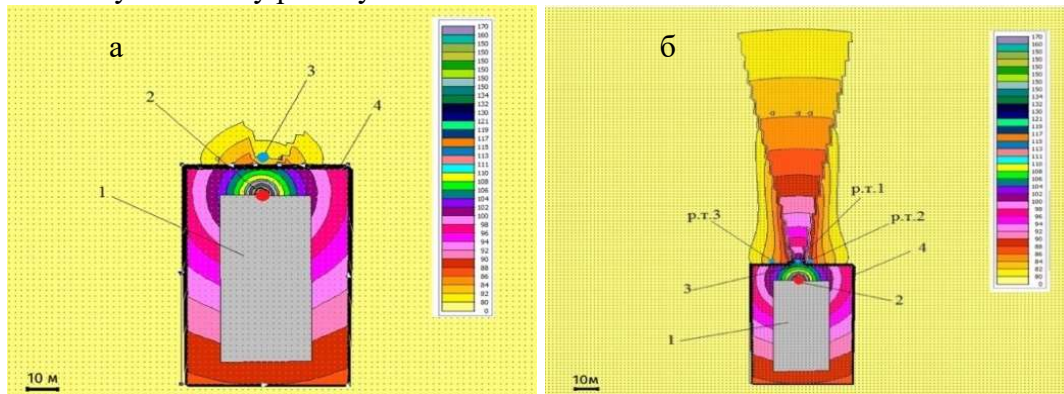


Рисунок 4 – Изолинии уровней звука при отсутствии (а)/наличии (б) технологического проема в экране: 1 – ГРП, 2 - точка выхода газопровода из здания ГРП (высота 1,5 м), 3 - проем, 4 - акустический экран (высота 5 м)

Проработан вопрос, каким образом ширина технологического проема будет влиять на акустическую эффективность экрана. В программе Predictor смоделирован экран вокруг здания ГРП с характеристиками, аналогичными предыдущей модели. Ширина технологического проема изменялась с 2 м до 6 м. Расчетные точки находятся: т.1 — напротив середины проема; т.2 — на расстоянии 3 м справа от центра проема; т.3 — на расстоянии 7 м от центра проема. На рисунке 5 представлены изолинии значений уровней звука при ширине технологического проема 6 м.

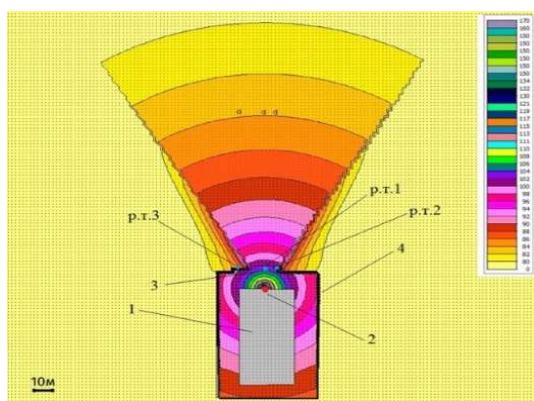


Рисунок 5 – Изолинии уровней звука при наличии технологического проема в экране шириной 6 м: 1 – ГРП, 2 - точка выхода газопровода из здания ГРП (высота 1,5 м), 3 - проем, 4 - акустический экран (высота 5 м)

Видно, что ширина проема существенно изменяет направленность шума по сравнению с источником со свободным излучением.

Исследовано, каким образом можно обеспечить снижение уровней звука от технологических проемов в акустических экранах, установленных вокруг здания ГРП. В программе Predictor смоделированы варианты с дополнительными прямым и Г-образным экранами напротив технологических проемов от здания ГРП. Ширина технологического проема взята максимальной, равной 6 м. Расстояние от технологического проема до дополнительного экрана составило 9 м. Данные величины были взяты для возможности подъезда крупногабаритной техники к зданию ГРП. Высота дополнительного экрана – 5 м.

На рисунке 7а представлены изолинии уровней звука для случая с прямым дополнительным акустическим экраном напротив технологического проема, из которого видно, что установка дополнительного экрана позволяет существенно снизить уровень звука по оси его установки.

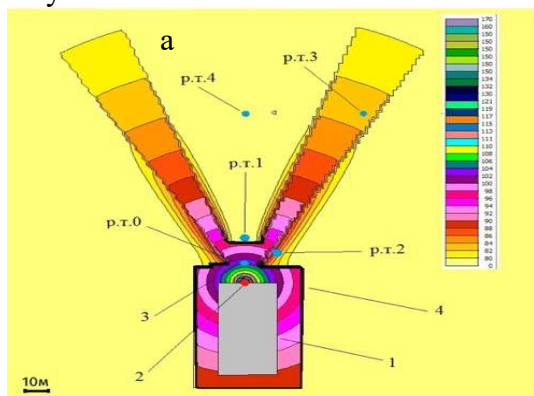


Рисунок 7 – Изолинии уровней звука при наличии дополнительного экрана напротив технологического проема: 1 – ГРП, 2 - точка выхода газопровода из здания ГРП (высота 1,5 м), 3 - проем, 4 - акустический экран (высота 5 м), 5 - дополнительный экран напротив проема

Например, уровень звука в т.1 на расстоянии 1 м от дополнительного прямого экрана

По итогам построения изолиний уровней звука в зависимости от ширины технологического проема сделан вывод, что увеличение ширины проема приводит к увеличению уровней звука на большей площади после технологического проема экрана. Снижение акустической эффективности экрана в зависимости от изменения ширины технологического проема составляет 12,4 дБА в т.2 и 6,8 дБА в т.3.

На рисунке 6 приведена характеристика изменения направленности шума от технологических проемов различной ширины в зависимости от угла излучения.

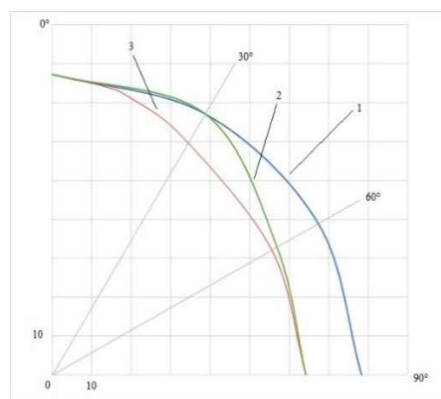
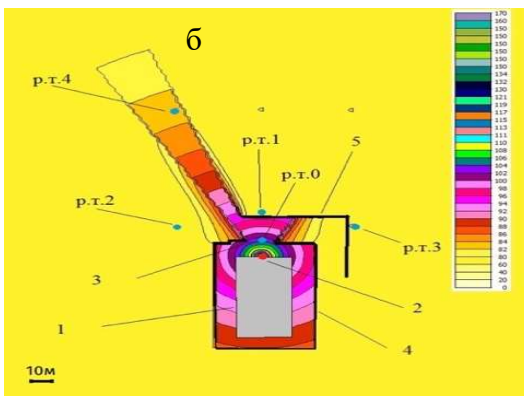


Рисунок 6 – Изменение уровня шума в зависимости от ширины проема: 1 – свободное излучение, 2 – проем 6 м, 3 – проем 2 м



меньше на 22,4 дБА, чем в т.0, которая находится в технологическом проеме. При этом шум, который распространяется по сторонам дополнительного экрана, имеет ярко выраженную лучевую направленность и является причиной превышения норм.

При дальнейшем анализе стало видно, что разница в уровнях звука в т.1, которая находится в области акустической тени экрана по сравнению с т.2, которая находится в зоне прямого уровня звука от шума ГРП, составляет около 10 дБА при расстояниях как 50, так и 100 м от источника. При этом разница существенно увеличивается с ростом среднегеометрических частот. Например, для расстояния 50 м разница для указанных точек увеличивается от 1,9 дБ до 16,7 дБ для среднегеометрических частот от 63 Гц до 8000 Гц.

Изолинии уровней звука для случая с дополнительным Г-образным акустическим экраном напротив технологического проема даны на рис. 7б. Здесь лучевое распространение шума имеет место только с одной стороны дополнительного Г-образного экрана. Это может быть важно при ориентации технологического проема по отношению к жилому району. Например, разница в уровнях звука в т.1 за Г-образным экраном по сравнению с т.2, которая находится вне зоны звукового луча, но напротив проема, образованного этим экраном, составляет только около 1,1 дБА. Уровень звука в т.2, которая находится вне зоны звукового луча, но рядом с проемом экрана, меньше на 6 дБА уровня звука в т.4, которая находится на расстоянии 50 м от экрана, но в зоне звукового луча.

Изменения для различных среднегеометрических частот в этих точках носят сложный характер. Например, для среднегеометрических частот 31,5 - 125 Гц имеет место снижение соответственно на 3,1- 0,1 дБ, а для других среднегеометрических частот имеет место повышение уровня звукового давления от 2,2 до 10,5 дБ. Для точки 3 (рисунок 7б), расположенной за прямым углом Г-образного экрана, имеют место минимальные уровни звука и звукового давления.

Полученные данные показали, что наличие технологических проемов, необходимых для персонала и подъезда техники, существенно снижает эффективность установки экрана для ГРП. Для уменьшения уровня шума от проемов необходимо устанавливать дополнительные экраны. Их расположение напротив технологических проемов должно выбираться индивидуально для каждого здания ГРП в зависимости от ширины технологического проема, а также расположения относительно зон жилой застройки.

В третьей главе рассмотрены особенности снижения шума от газопроводов после ГРП, изложены основные методы расчета уровней шума от газопроводов после ГРП, исследовано влияние газопроводов с переменными шумовыми характеристиками по длине.

Для этой цели использовалась известная формула изменения звукового давления по всей длине газопровода с переменными характеристиками вдоль длины канала, которая имеет вид:

$$\rho_e^2(\varepsilon, R) = \frac{\rho c W_0}{4\pi R} \left(e^{-kl} \operatorname{arctg} \left(\frac{l}{R} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{\varepsilon}{R} \right) [1 - e^{-kl}] \right), \quad (1)$$

где W_0 – мощность шума в начальной точке, Вт; l – длина газопровода, м; ρ – плотность кг/м³; c – скорость звука, м/с; R – линейное расстояние от источника до расчетной точки, м; ε – точка по длине конечной длины отрезка, м; k – безразмерный коэффициент, характеризующий снижение уровня шума по длине.

Используем формулу (1) для получения коэффициента k , который характеризует снижение уровня шума по длине газопровода. Этот коэффициент k ранее не был определен.

Из (1) при $\varepsilon = 0$

$$L(\varepsilon = 0, R) = L_0 + 10 \lg \left\{ e^{-kl} \operatorname{arctg} \left(\frac{l}{R} \right) \right\} - 10 \lg \frac{R}{R_0} - 10 \lg 8\pi \quad (2)$$

Из (1) при $\varepsilon = l$

$$L(\varepsilon = l, R) = L_0 + 10 \lg \left\{ e^{-kl} \operatorname{arctg} \left(\frac{l}{R} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{l}{R} \right) [1 - e^{-kl}] \right\} - 10 \lg \frac{R}{R_0} - 10 \lg 8\pi \quad (3)$$

Разница в уровнях звукового давления от точки $\varepsilon=0$ (2) до точки $\varepsilon = l$ (3) будет

$$\Delta L = L(\varepsilon = l, R) - L(\varepsilon = 0, R) = 4,34kl \quad (4)$$

Из (4) видно, что разница в уровнях звукового давления ΔL , дБ, зависит от длины газопровода l и коэффициента k . Чтобы найти коэффициент k , используем известные экспериментальные данные:

$$\Delta L = 14,7 \lg\left(\frac{l}{10}\right) \quad (5)$$

Формула (5) получена путем приближения результатов акустических измерений на расстоянии 10 м от газопровода ГРП. Длина газопровода после ГРП составляет 1000 м. Основным источником шума в газопроводе ГРП является шум от регулирующих клапанов со значительным потреблением природного газа.

От (4) и (5) получаем

$$k = \frac{3,387}{l} \lg\left(\frac{l}{10}\right) \quad (6)$$

Коэффициент k сложным образом зависит от l . Формула (6) действительна для $l > 10$.

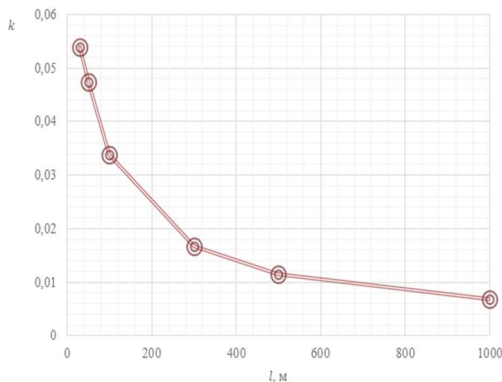


Рисунок 8 – Изменение коэффициента k по длине газопровода

длине газопровода от 10 дБ до почти 30 дБ с увеличением длины с 50 до 1000 м.

В ходе расчетов получены формулы (4) и (6), которые позволяют рассчитать уровни звукового давления (уровни звука) для линейного источника с переменными шумовыми характеристиками по длине. Формула (6) получена для расчета изменения уровня звукового давления из линейных источников с переменными шумовыми характеристиками по длине на постоянном расстоянии от газопровода.

Определена зависимость влияния высоты прохождения газопровода над землей на затухание шума экраном постоянной высоты. Было проведено сравнение эффективности использования акустических экранов для газопроводов после ГРП, представленных в виде линейных источников шума с переменными и постоянными шумовыми характеристиками по длине. В первом случае газопровод смоделирован как источник с постоянными шумовыми характеристиками. Высота экрана постоянная по всей длине и составляет $h=10$ м. Протяженность газопровода – 600 м. Расстояние между осью газопровода и акустическим экраном – 3 м. Расчетные точки расположены на расстоянии 50 м, 100 м, 300 м (на границе СЗЗ), 500 м (на границе зоны жилой застройки) и на расстоянии 3 м от экрана. Газопровод проходит на разной высоте над землей: 1,5; 3, 5, 8 м.

Показано, что акустическая эффективность экрана зависит от высоты расположения источника шума и расстояния от источника до расчетной точки (рисунок 10а и рисунок 10б).

На рисунке 8 показано изменение коэффициента k от l . Видно, что коэффициент k варьируется от 0,54 до 0,0068 с изменением l от 30 до 1000 м, соответственно.

Полученные результаты имеют практическое применение для снижения шума газопроводов ГРП на ТЭС. Из формулы (4) получаем снижение уровня звука по всей длине газопровода. На рисунке 9 показаны полученные результаты изменения шума в зависимости от относительных значений коэффициента k . Как видно, снижение варьируется по всей

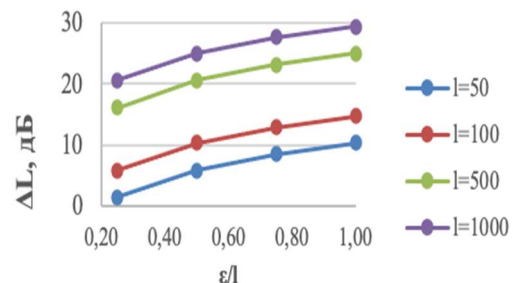


Рисунок 9 – Снижение шума в зависимости от относительной длины газопроводов ε/l на расстоянии $R=10$ м

Расчет показал, что акустическая эффективность снижается при увеличении высоты прохождения газопровода.

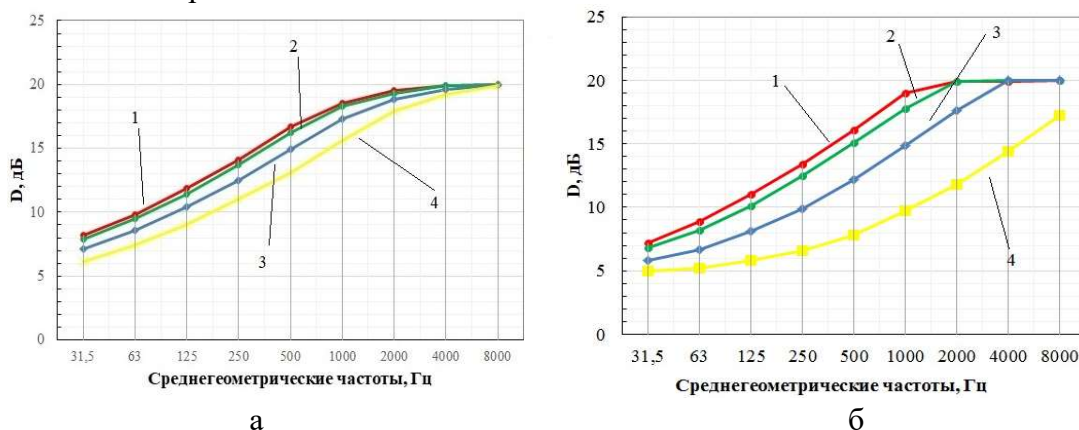


Рисунок 10 – Затухание шума от экрана на расстоянии 3 м (а) и 300 м (б), где высота прохождения газопровода над землей: 1 - 1,5 м; 2 - 2 м; 3 - 3 м; 4 - 4 м

Из рисунка 11 видно, что наилучшее затухание наблюдается при минимальной высоте газопровода, равной 1,5 м. При определении необходимой высоты экрана необходимо учитывать, что акустическая эффективность выше при минимальной высоте прохождения газопровода. Однако после определенной высоты экрана его эффективность остается неизменной. Максимальное затухание наблюдается для расчетной точки, расположенной на расстоянии 300 м, при среднегеометрической частоте 2000 Гц для газопроводов высотой 1,5 м и 2 м. Анализ данных показал, что с увеличением расстояния от газопровода до расчетной точки акустическая эффективность уменьшается на 3 дБА.

Установлено, при каком минимальном расстоянии расположения оси газопровода от верхней кромки экрана его использование будет неэффективным. Для этого проведен расчет, определяющий разность между затуханием экрана при минимальной высоте газопровода 1,5 м и высотами экрана, равными 2; 3 и 4 м (рисунок 11).

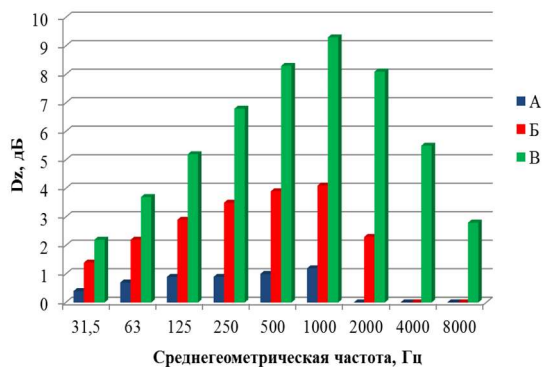


Рисунок 11 – Затухание шума от экрана на расстоянии 3 м и высоте расчетной точки 1,5 м при прохождении газопровода: А – на расстоянии 1 м от кромки экрана; Б – 2,5 м от кромки; В – 3,5 м

В ходе анализа рисунка 11 был сделан вывод, что для среднегеометрической частоты 1000 Гц разность между затуханием шума экранов составляет больше 9 дБ. Использование акустического экрана при расстоянии меньше 2,5 метров от газопровода до кромки экрана является малоэффективным.

По результатам расчетов построены изолинии, показывающие снижение уровней звука с удалением газопровода от ГРП при рассмотрении газопровода как линейного источника с переменными шумовыми характеристиками по длине и постоянными шумовыми характеристиками (рисунок 12а и рисунок 12б). Длина газопровода составила 100 м. По всей длине газопровода расположен акустический экран высотой $h=5$ м, который располагается на расстоянии 3 м от оси газопровода. Высота прохождения газопровода над поверхностью земли постоянна и составляет 1,5 м.

Из рисунка 12а видно, что с увеличением расстояния от ГРП уровень шума от газопровода снижается. Построенные изолинии показывают, что акустический экран с постоянными характеристиками по длине не позволяет обеспечить требуемые величины уровня шума возле точки выхода газопровода из здания ГРП. Но по мере удаления от ГРП

(более 100 м) уровни звука уменьшаются более чем на 15 дБА. На таких расстояниях уровень звука от газопровода ГРП не будет превышать допустимые нормы для территории производственных зон.

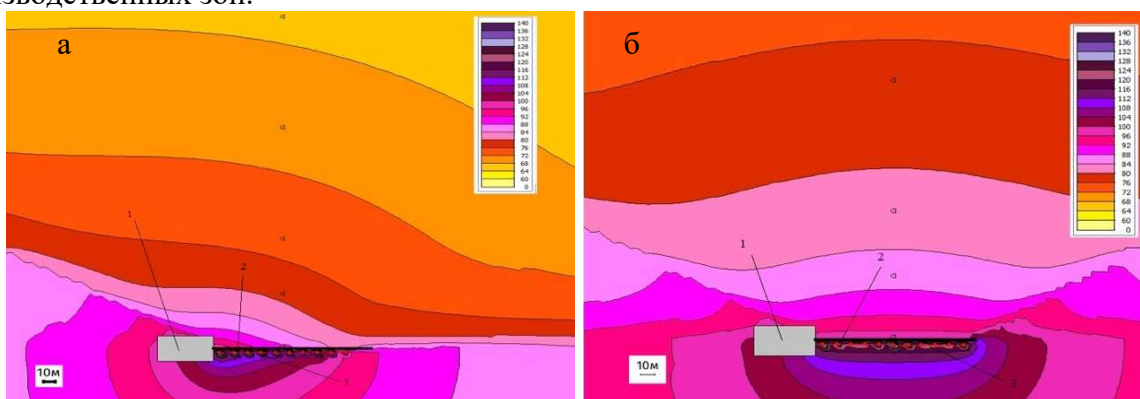


Рисунок 12 – Изолинии уровня звука от газопровода с учетом снижения уровня звука по его длине (а) и газопровода с постоянными шумовыми характеристиками по его длине: 1 - ГРП; 2 - акустический экран (высота 5 м); 3 - газопровод (высота 1,5 м)

При рассмотрении газопровода как линейного источника с постоянными шумовыми характеристиками по длине (рисунок 12б) сделан вывод, что использование акустического экрана не позволяет снизить шум до действующих нормативов вдоль всей длины газопровода. Данные, представленные на рисунках 12а и 12б, позволяют определить область, в которой установка акустического экрана будет наиболее эффективна, а также определить область, в которой необходимо совместное применение экрана и звукоизоляционных материалов для обеспечения максимальной эффективности шумоглушения.

Рассмотрен вопрос, изменится ли эффективность экрана при изменении высоты прохождения газопровода. Здесь и далее газопровод задан как линейный источник с переменными шумовыми характеристиками по длине. Для проведения расчетов газопровод разбит на десять линейных источников шума каждый длиной $R=10$ м. Высота прохождения газопровода изменялась по длине от 1,5 м до 3,5 м. Высота экрана $h=6$ м, экран расположен на расстоянии 3 м от оси газопровода, длина газопровода – 100 м. По результатам проведенных расчетов построены изолинии, показывающие снижение уровней звука с удалением газопровода от ГРП (рисунок 13а).

Проверено условие, изменится ли эффективность экрана, если расстояние от газопровода с переменными шумовыми характеристиками по длине до верхней кромки экрана составит менее 2,5 м. Высота экрана $h=5$ м, экран расположен на расстоянии 3 м от оси газопровода, длина газопровода – 100 м. Полученные по итогам расчета изолинии представлены на рисунке 13б.

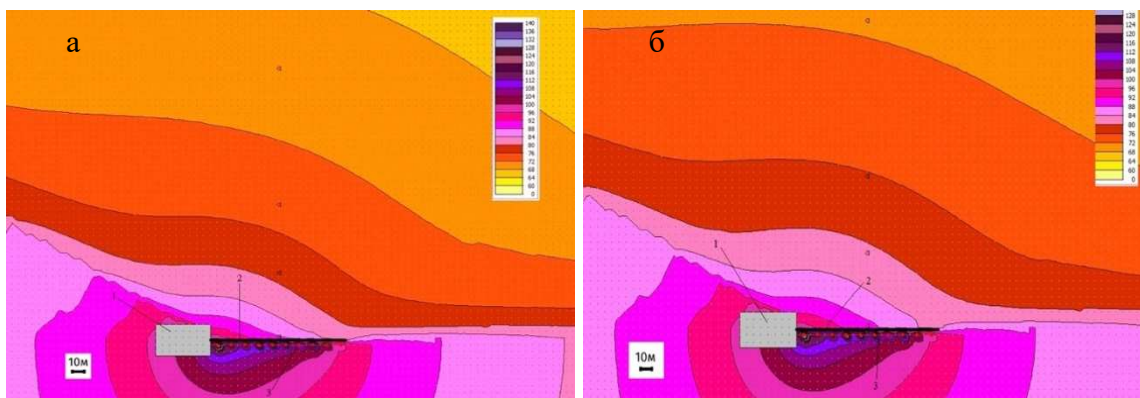


Рисунок 13 – Изолинии уровня звука от газопровода с учетом изменения его высоты: 1 - ГРП; 2 - акустический экран (а: высота 6 м, б: 5 м); 3 – газопровод (а: 1,5-3,5 м, б: 1,5-4 м).

Проведенные расчеты показали, что акустическая эффективность экрана является незначительной, если минимальное расстояние от газопровода с переменными шумовыми характеристиками по длине до верхней кромки экрана менее 2,5 м.

В четвертой главе представлен технико-экономический расчет применения мероприятий по шумоглушению на ГРП и газопроводах после него. Рассмотрены известные методики расчета звукоизоляции газопроводов, проведен анализ существующих технико-экономических методов определения затрат на мероприятия по шумоглушению энергетического оборудования.

Предложен новый метод нахождения минимума суммарных дисконтированных затрат на шумоглушение при использовании акустического экрана Z_1 и на звукоизоляцию газопроводов Z_2 .

$$Z_d = Z_1 + Z_2 \rightarrow \min \quad (7)$$

Значения Z_1 и Z_2 , соответственно, представляют собой дисконтированные затраты на шумоглушение при использовании экрана и звукоизоляции газопровода.

Для нахождения минимума дисконтированных затрат с использованием одновременно акустических экранов и звукоизоляции газопроводов использовалась известная методология.

Суммарные дисконтированные затраты Z_d представляются функцией от требуемого снижения за счет экранирования и за счет применения изоляционных материалов:

$$Z_d = f(\Delta L_{\text{экр}}; \Delta L_{\text{об}}). \quad (8)$$

При этом уровень шума после установки экрана и использования звукоизоляции в определенной точке не должен превышать допустимый уровень, который определяется как

$$L_{\text{доп}} = L_1 - \Delta L_{\text{экр}} - \Delta L_{\text{об}}, \quad (9)$$

где L_1 – уровень звукового давления до мероприятий по шумоглушению от источника, дБ; $\Delta L_{\text{экр}}$ – требуемое снижение за счет экранирования, дБ; $\Delta L_{\text{об}}$ – требуемое снижение за счет звукоизоляции, дБ.

Задача сводилась к определению условного экстремума функции, которая была решена методом Лагранжа. Для этого частные производные условной функции Лагранжа Φ по независимым производным ΔL приравнялись к нулю:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta L_{\text{экр}}} &= \frac{\partial Z_1}{\partial \Delta L_{\text{экр}}} + \lambda = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \Delta L_{\text{об}}} &= \frac{\partial Z_2}{\partial \Delta L_{\text{об}}} + \lambda = 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Условная функция Лагранжа

$$\Phi = F + \lambda \varphi, \quad (11)$$

где λ – неопределенный множитель, исключаемый в процессе решения.

$$F = Z_1 + Z_2, \quad (12)$$

$$\varphi = L_{\text{доп}} - L_1 + \Delta L_{\text{экр}} + \Delta L_{\text{об}} = 0, \quad (13)$$

Значения $Z_1 = f(\Delta L_{\text{экр}})$ и $Z_2 = f(\Delta L_{\text{об}})$, соответственно, представляют собой дисконтированные затраты на шумоглушение при использовании экрана и звукоизоляции.

Принимая, что $r_{\text{экр}} = \frac{\partial Z_1}{\partial \Delta L_{\text{экр}}}$; $r_{\text{об}} = \frac{\partial Z_2}{\partial \Delta L_{\text{об}}}$ – удельные дисконтированные затраты на единицу снижения шума с помощью экрана и звукоизоляцией газопровода соответственно.

Из решения функции Лагранжа (10) получено, что условие минимума выполняется при условии

$$r_{\text{экр}} = r_{\text{об}}, \quad (14)$$

Таким образом, минимальные дисконтированные затраты от установки защитного экрана и звукоизоляции (7) будут, когда удельные дисконтированные затраты на единицу снижения шума с помощью экрана и звукоизоляции газопровода будут равны.

Рассмотрен вопрос, когда удельные дисконтированные приросты затрат на единицу снижения шума от экрана и звукоизоляции не будут равны. Получена следующая формула для определения экономических потерь

$$\Delta Z = 10 \lg \left[\left(\frac{2r_{\text{экp}}}{r_{\text{экp}} + r_{\text{об}}} \right)^{r_{\text{экp}}} * \left(\frac{2r_{\text{об}}}{r_{\text{экp}} + r_{\text{об}}} \right)^{r_{\text{об}}} \right] \quad (15)$$

Экономические потери в соответствии с формулой (4.12) будут при условии, когда $r_{\text{экp}} \neq r_{\text{об}}$. В самом деле при $r_{\text{экp}} = r_{\text{об}}$ формула (15) приобретает вид

$$\Delta Z = 0 \quad (16)$$

Таким образом, при равных удельных приведенных дисконтированных затратах на единицу снижения шума от экрана и звукоизоляции экономический эффект от внедрения мероприятий будет максимальным, а потери равны $\Delta Z = 0$.

Для оценки экономических потерь, используя формулу (15), рассмотрим случай, когда удельные приведенные дисконтированные затраты на единицу снижения шума на установку

экрана и звукоизоляции отличаются на 5 – 40 %.

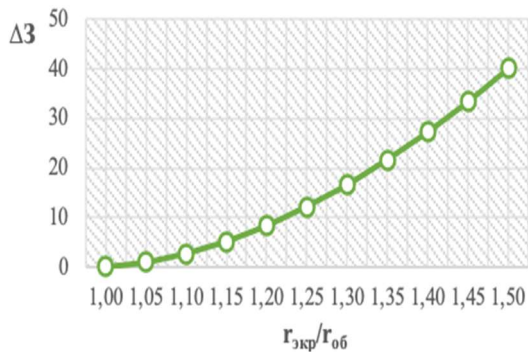


Рисунок 14 – Экономические потери в зависимости от роста отношения между удельными приведенными дисконтированными затратами на 1 дБ снижения шума на установку экрана и звукоизоляцию

На рисунке 14 видно, что с увеличением отношения между удельными дисконтированными затратами на единицу снижения шума на установку экрана и звукоизоляцию экономические потери увеличиваются. Так, при отношении в 5% удельных дисконтированных приведенных затрат на экранирование и изоляцию $\Delta Z = 0,99r_{\text{об}}$, при отношении в 15% $\Delta Z = 5,15r_{\text{об}}$, при отношении в 30% $\Delta Z = 16,62r_{\text{об}}$, а при увеличении отношения до 50% — $\Delta Z = 40,1r_{\text{об}}$. Таким образом, отклонение от оптимального варианта соблюдения минимума удельных дисконтированных затрат на единицу снижения шума с

помощью экрана и звукоизоляции газопровода приводит к увеличению стоимости мероприятий по шумоглушению.

Анализ данных, полученных при реализации мероприятий от совместной установки акустического экрана и использования звукоизоляционных материалов на одной из РТС показал, что удельные дисконтированные затраты на снижения 1 дБА в год составили приблизительно 160 000 рублей (2 182 \$). Таким образом, при отношении $r_{\text{экp}}/r_{\text{об}} = 1,3$ $\Delta Z = 2\,659\,200$ руб. (36 258 \$), а при отношении $r_{\text{экp}}/r_{\text{об}} = 1,5$ $\Delta Z = 6\,416\,000$ руб. (87 483 \$).

На основании полученных данных сделан вывод, что увеличение отношения между удельными приведенными затратами на единицу снижения шума на установку экрана и звукоизоляцию существенно увеличивает экономические потери.

Стоимость звукоизоляции существенно зависит от величины требуемой звукоизоляции. При этом не всегда удастся нанести звукоизоляцию на все элементы газопровода. Поэтому обеспечить соблюдение требуемых санитарных норм от ГРП и газопроводов от него целесообразно одновременным использованием акустических экранов и звукоизоляцией газопроводов.

В работе рассмотрены звукоизоляционные материалы, заявляемые производителями как использующиеся для изоляции каналов и промышленных газопроводов, следующих марок: K-Flex, Armacell, Thermaflex. В процессе проведения анализа звукоизоляционных материалов различных фирм было обнаружено отсутствие единых данных, по которым данные материалы могли быть сравнены.

Поэтому были рассчитаны удельные приведенные затраты звукоизоляции на единицу снижения уровня шума $r_{\text{об}}$, представленные в таблице 2. Для оценки минимальной удельной

стоимости затрат звукоизоляции на единицу снижения уровня шума учтены не только стоимость материала, но и расходы на оплату труда, накладные расходы, дополнительные материалы и др. В соответствии с данными, полученными при реализации мероприятий по шумоглушению газопровода после ГРП на действующей станции, принято, что затраты на дополнительные мероприятия составили 276 000 тысяч рублей. Одной из главных стоимостных составляющих мероприятий по шумоглушению является стоимость материала, поэтому $r_{об}$ будет прямо пропорциональна стоимости материалов.

Таблица 2, в расширенном формате представленная в Приложении А к диссертации, может в дальнейшем использоваться в качестве справочных материалов для упрощения процедуры расчетов и подбора материала для звукоизоляции газопроводов. Представленная таблица дает наглядное представление по удельным приведенным затратам на звукоизоляцию и помогает при выборе разных типов и видов изоляции. На практике чаще всего применяется комбинация звукоизоляционных материалов, которую также можно подобрать для равенства удельным приведённым затратам на экранирование $r_{экр}$.

Таблица 2 – Удельные приведенные затраты на звукоизоляцию газопровода после ГРП

Материал	x , руб/м ²	d , м	D , м	L , м	V , м ³	$k_{уд}$, руб/ м ³	$r_{об}$, руб/дБ
Thermaflex (ThermaSheeT)	2928,06	0,025	1,2	40	3,768	117122,4	59776,4
	3757,01	0,03	1,2	40	4,5216	125233,6	70188,0
Armacell (Armaflex)	1690,83	0,025	1,2	40	3,768	67633,2	44236,8
	2085,51	0,04	1,2	40	6,0288	52137,75	49194,0
K-FONIK FIBER P	1424,52	0,03	1,2	40	4,5216	47484	40892,0
	2627,93	0,05	1,2	40	7,536	52558,6	56006,8
K-FONIK ST GK	3364,14	0,012	1,2	40	1,80864	280345	65253,6
	4117,03	0,027	1,2	40	4,06944	152482,5	74709,9
K-FONIK OPEN CELL	2320,38	0,025	1,2	40	3,768	92815,2	52144,0
	4768,71	0,05	1,2	40	7,536	95374,2	82895,0

* x – стоимость материала; d – толщина материала; D – диаметр трубопровода; L – длина трубопровода; V – объем звукоизоляционного материала; $k_{уд}$ – удельная стоимость звукоизоляционного покрытия толщиной d .

На основании полученных данных определено, что средняя теоретическая стоимость минимальных удельных затрат на единицу снижения шума на звукоизоляцию будет составлять 170 000 рублей. Средняя цена на снижение уровня шума на 1 дБА при использовании звукоизоляционных материалов на действующей станции составила 164 167,3 рублей, затраты на единицу снижения шума с помощью установки экрана составили 160 043,4 рублей. Сделан вывод, что использование оптимальной комбинации звукоизоляционных материалов различных фирм и толщины помогает существенно снизить приведенные затраты на шумоглушение.

В ходе подготовки научной работы проведены измерения уровней шума возле ГРП и вдоль газопровода на РТС мощностью 290 Гкал/ч. Расчётное потребление природного газа составляло 179 500 м³/ч. Измерения проводились в рамках договорных обязательств между ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» НОЦ «Снижение шума энергетического оборудования» и ООО «ТСК Мосэнерго» под руководством В.Б. Тупова.

Согласно результатам акустических измерений, необходимое снижение шума от газопроводов с учётом поправки на ночное время составило 31,4 дБА. Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что только установкой экрана добиться требуемого снижения невозможно. Поэтому для выполнения санитарных норм потребовалось совместное с акустическим экраном нанесение звукоизоляции на газопровод.

После установки акустического экрана и нанесения звукоизоляции были проведены повторные измерения. На рисунке 15а видно, что акустическая эффективность экрана

составила 20,5-21,2 дБА. Наибольшая эффективность приходится на высокие частоты и составляет от 18,9 до 26,7 дБ для среднегеометрических частот 1000 и 8000 Гц. Акустическая эффективность от применения звукоизоляции представлена на рисунке 15б. Снижение шума при применении звукоизоляции составляет 12,0-12,8 дБА. Наибольшее снижения шума при применении звукоизоляции приходится на высокие частоты и составляет от 8,0 до 12,9 дБ для среднегеометрических частот 1000 и 8000 Гц.

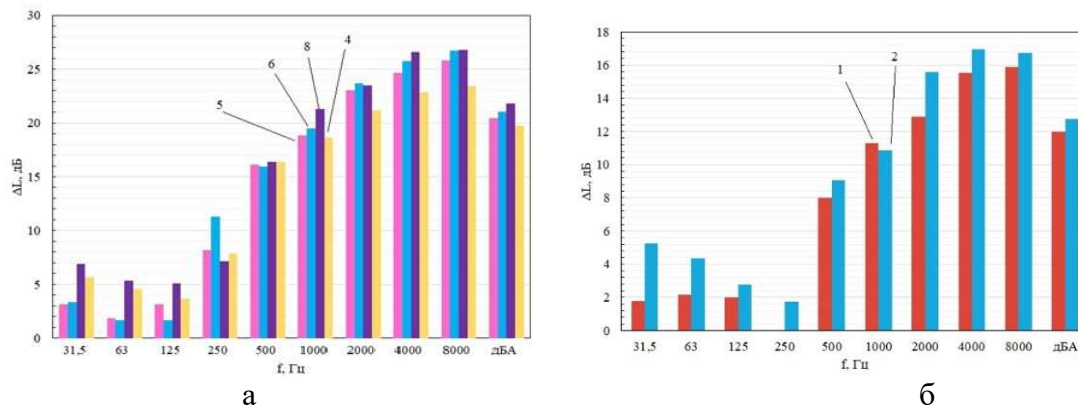


Рисунок 15 – Результаты акустической эффективности акустического экрана (а) и звукоизоляции (б): 1,2,4,5,6,8 — контрольные точки

После осуществления мер по шумоглушению с использованием акустических экранов и звукоизоляции были проведены измерения в окружающем районе в контрольной точке на расстоянии 50 м от забора станции со стороны жилого района. Результаты измерений приведены на рисунке 16.

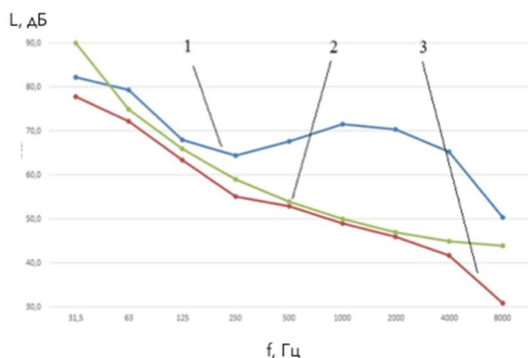


Рисунок 16 – Изменение уровней звукового давления в окружающем районе: 1 - до проведения мероприятий; 2 - дневные санитарные нормы для окружающего района; 3 - после проведения мероприятий

Сделан вывод, что после осуществления мероприятий по шумоглушению уровень звука соответствует дневным допустимым нормам для окружающего района. Контрольная точка находится на расстоянии приблизительно 50 м от дороги с постоянным движением, и поэтому уровень шума является постоянным даже при неработающей станции и может считаться фоновым. Таким образом, совместное использование звукоизоляции и акустических экранов позволило добиться

снижения шума от газопроводов после ГРП до фоновых величин, которые соответствуют дневным санитарным нормам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам проведенных измерений на действующих объектах энергетики превышения нормативов составляют до 33,6 дБА в помещении ГРП и на выходе газопровода из здания ГРП. Превышение уровней звука по длине газопровода составило от 3,2 дБА до 20,7 дБА на различных энергетических объектах. Показана необходимость осуществления комплекса мер по снижению шума на ТЭС от ГРП и газопроводов после него на путях распространения с помощью акустических экранов и использования звукоизоляции газопроводов.

2. Определена минимальная высота установки акустического экрана вокруг ГРП для достижения его максимальной эффективности. При этом построены трехмерные графики

зависимости акустической эффективности экрана от его высоты и расстояния от экрана до расчетной точки при фиксированном расстоянии от ГРП до экрана. По итогам расчетов определено, что минимальная необходимая высота экрана для получения максимального затухания шума 20 дБ на среднегеометрической частоте 1000 Гц должна быть не меньше 7,4 м при расположении расчетной точки на расстоянии 300 м от экрана и расстоянии от ГРП до экрана 10 метров, определенным в соответствии с действующими нормативами.

3. Проведено исследование влияния наличия технологических проемов для обслуживания здания ГРП и проезда специализированной техники на акустическую эффективность экрана вокруг ГРП. Определено, что наличие технологических проемов существенно снижает акустическую эффективность экрана. Снижение составляет 17,9 дБА рядом с экраном и 14,5 дБА при расположении расчетной точки от экрана на расстоянии 300 м от него. Определено, что увеличение размера технологического проема с 2 до 6 метров снижает акустическую эффективность экрана на 12,4 дБА и 6,8 дБА в зависимости от удаления расчетной точки от центра проема.

4. Определено изменение излучения шума вокруг технологических проемов в акустических экранах. Установлено, что ширина проема существенно изменяет направленность шума по сравнению с источником со свободным излучением. Показано, как установка дополнительных экранов различных форм меняет направленность излучения шума. Расчетами показано, что шум, который распространяется по сторонам дополнительного прямого экрана или с одной стороны Г-образного экрана, имеет ярко выраженную лучевую направленность.

5. Определен коэффициент k , который в формуле расчета уровня звукового давления характеризует снижение уровня шума по длине газопровода. Показан сложный характер зависимости этого коэффициента k от длины газопровода. Построен график зависимости снижения уровня звука по всей длине газопровода в зависимости от длины газопровода.

6. Доказано, что увеличение высоты прохождения газопровода приводит к уменьшению затухания экраном. Сделан вывод, что при высоте меньше 2,5 м от газопровода до верхней кромки экрана акустическая эффективность экрана крайне мала.

7. Проведенные расчеты показали, в каких случаях для снижения шума от газопровода достаточно использование только акустического экрана, а когда необходимо использовать с акустическими экранами звукоизоляцию газопроводов.

8. Предложен новый метод, позволяющий разрабатывать мероприятия по снижению шума от газопроводов после ГРП до санитарных норм с наименьшими затратами при одновременном использовании акустических экранов и звукоизоляции газопроводов. Определено условие, когда удельные приведенные затраты на снижение шума от экрана и звукоизоляции будут минимальны. Показано, что увеличение разницы между удельными приведенными затратами на единицу снижения шума на установку экрана и звукоизоляцию влияет на экономический эффект от внедрения мероприятий по шумоглушению.

9. Рассчитаны удельные приведенные затраты для 6 длин газопроводов после ГРП и для двух диаметров трубопровода в зависимости от фирмы-производителя материала, которые в дальнейшем могут использоваться как справочные данные при выборе звукоизоляционных материалов для снижения шума от газопровода ГРП.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Тупов В.Б., Кузьмина С.А. Акустическая эффективность экранов для снижения шума от газораспределительных пунктов и их газопроводов. Вестник МЭИ, №4, 2020, с. 81-88

2. Кузьмина С.А., Тупов В.Б. Влияние технологических проемов на акустическую эффективность экранов ГРП. Вестник МЭИ, №3, 2020, с. 48-54

3. **Кузьминова С.А., Тупов В.Б.** Метод обоснования мероприятий по снижению шума от газопроводов после газораспределительного пункта. Электрические станции, №7, 2020, с. 21-23

4. Тупов В.Б., Тараторин А.А, **Кузьминова С.А.**, Скворцов В.С. Результаты мероприятий по снижению шума от газораспределительного пункта и газопроводов после него. Электрические станции, №2, 2021, с. 48-51

Статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень Scopus:

5. Tupov V., **Kuzminova S.**, Skvortsov V. Results of calculations from a linear source with variable noise characteristics along the length. Journal of Physics: Conference Series, №1683, 2020

6. **Kuzminova S.**, Tupov V. Method of justification of measures to reduce noise from gas pipelines after the gas distribution point. Power Technology and Engineering, Vol. 54 (5), 2020

7. **Kuzminova S.**, Tupov V. The economic effect of using the new method to implement measures to reduce noise by noise insulation and acoustic barrier for gas pipelines. Akustika, Vol. 39, 2021

Статьи в других научных изданиях:

8. **Чувирова С.А., Тупов В.Б.** Способы снижения шума от ГРП на путях его распространения. Двадцать четвертая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электроника и энергетика» 15-16 марта, 2018, с. 835

9. Тупов В.Б., **Чувирова С.А.** Нормирование шума на объектах энергетики. Экология производства, №2, 2018, стр.41-47

10. **Чувирова С.А.,** Гатовская А.И. Методы снижения шума от автотранспорта. Двадцать четвертая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электроника и энергетика» 15-16 марта, 2018, с. 835

11. **Чувирова С.А., Тупов В.Б.,** Расчет акустической эффективности экранов для снижения шума от ГРП и газопроводов после него. Двадцать пятая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электроника и энергетика» 14-15 марта, 2019, с. 832

12. **Чувирова С.А., Тупов В.Б.** Возможности акустических экранов для снижения шума от ГРП и газопроводов после него. Сборник докладов: Защита от повышенного шума и вибрации, СПб, под ред. Н.И. Иванова, 2019, с.726-732

13. **Кузьминова С.А., Тупов В.Б.** Влияние расположения газопроводов на акустическую эффективность экранов. Двадцать шестая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электроника и энергетика», 12-13 марта, 2020, с.859

14. **Кузьминова С.А., Тупов В.Б.** Особенности использования звукоизоляционных материалов для газопроводов после ГРП. Двадцать седьмая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электроника и энергетика», 11-12 марта, 2021, стр.859