

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Казань – 2020

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н.Туполева – КАИ» на кафедре «Специальные технологии в образовании».

Научный руководитель: **Павлов Григорий Иванович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Комкин Александр Иванович**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры экологии и промышленной безопасности

Томилина Татьяна Михайловна
кандидат технических наук,
ФГБУН Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
заведующая лабораторией структурной акустики

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г.Белгород

Защита состоится 22 декабря 2020 г. в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.082.06, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, ауд. Д-225, тел/факс (843)519 42 55.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, КГЭУ, Ученому секретарю диссертационного совета Д 212.082.06

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Казанского государственного энергетического университета и на официальном сайте КГЭУ <https://kgeu.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.082.06
к.т.н., доцент

Шамиль Гаязович Зиганшин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

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. В настоящее время в Казани функционируют три независимые системы теплоснабжения:

1. Система централизованного теплоснабжения (СТЦ) от источников АО «Татэнерго»: Казанские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, районные котельные «Савиново», «Азино», «Горки», а также от Казанской ТЭЦ-3 (филиала ОАО «ТГК-16»).

2. Система теплоснабжения от котельных АО «Казэнерго».

3. Система теплоснабжения от котельных промышленных предприятий и ведомственных котельных. Эта система 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. 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.

Предприятия теплоэнергетики г. Казани расположены вблизи жилых массивов. 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. Круглосуточный режим деятельности предприятий теплоэнергетики обуславливает их негативное воздействие на окружающую среду не только в дневные часы, но и ночью. Шум мешает восприятию полезных звуков (человеческой речи, сигналов и пр.), нарушает тишину и оказывает вредное действие на окружающую среду и организм человека. Длительный шум ослабляет функциональное состояние центральной нервной системы человека, снижает сопротивляемость организма, что способствует развитию тяжелых болезненных процессов, невротических состояний, гипертонической либо гипотонической болезней. Население в этих районах вынуждено жить в условиях значительного превышения установленных норм по шуму.

Ввиду изнашиваемости оборудования, проведения технического обслуживания и ремонта энергетических узлов и систем отклонениями от нормативных требований, 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 важно принимать защитные от шума меры.

Эффективным путем решения проблемы шума является снижение его уровня в самом источнике. На тепловых электростанциях наибольший вклад в шумовое загрязнение среды вносит основное оборудование: паровые котлы, турбины, генераторы. В районных водогрейных котельных, как показали эксперименты, основным источником, излучающим шумы высокой интенсивности, является вспомогательное оборудование: тягодутьевые машины, водяные насосы, газораспределительные пункты, газопроводы и т.д. В совокупности эти агрегаты создают шумовое поле с разными частотными и амплитудными составляющими.

Проблема исследования технологических шумов энергетических систем и комплексов и разработка шумозащитных мероприятий является актуальной задачей.

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, В.Б. Тупов, Е.А. Перцовский, Л.А. Рихтер, В.И. Зинченко и др. Вопросы 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, В.Б. Тупов, М.В. Буторина, В.П. Гусев, Г.Д. Изак, Н.И. Иванов, Д.А. Куклин, Б.Ч. Месхи, А.Г. Мунин, Ю.П. Щевьев, Е.Я. Юдин, Л.Р. Яблоник и другие.

Объект исследования: Предприятия раздельной 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 раздельной выработки тепловой энергии энергетической системы г. Казани.

Основные 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:

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 районных 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 ценность 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 котельной «Савиново» г. Казани, а также подтвердить их эффективность.

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.

Основные положения, выносимые на защиту:

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.

Соответствие диссертации паспорту специальности 05.14.01. 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.

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 SmartEnergy Systems-2019 (г. Казань, 2019 г.).

Публикации. По материалам исследований опубликовано 12 научных работ, из них 2 статьи опубликованы в изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России, 1 статья в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, 9 работ – в материалах международных и всероссийских конференций.

Структура и объем работы. 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе приведены результаты исследований характеристик 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.

Рассматриваемые котельные расположены внутри плотной городской застройки, например, районная котельная (РК) «Савиново» расположена в жилом массиве поселка Дружба города Казани, первый ряд жилых домов находится от предприятия на расстоянии 10-15 метров. Измеренные значения уровней шума около котельных составили 71 дБА (Савиново), 64дБА (Азино) и 62 дБА (Горки), на границах нормативных санитарно-защитных зон (СЗЗ) - 58 дБА (Савиново), 54 дБА (Азино) и 51 дБА (Горки). Допустимое значение уровня шума для данной территории составляет 50 дБА в дневное время и 40 дБА в ночное. Следовательно, трехсотметровые СЗЗ не обеспечивают необходимого снижения уровня шума от рассматриваемых котельных.

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. Тепловая мощность РК «Азино» составляет 360 Гкал/час, в котельной установлены два котла типа ПТВМ-180. Тепловая мощность РК «Горки» 200 Гкал/час обеспечивается четырьмя котлами ПТВМ-50.

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.

Все измерения в работе проведены с помощью многофункционального измерительного комплекса «Экофизика» 110Ac дальнейшей обработкой акустических и вибрационных сигналов в программе Signal+ на компьютере.

На исследуемых объектах для идентификации источников шума, а также для выявления возможных причин генерации ими шума высокой интенсивности исследовались виброакустические характеристики. С целью определения причин повышенного уровня шума сначала визуальным и инструментальными методами определялось техническое состояние оборудования.

Энергетическое оборудование районных котельных в период эксплуатации подвергается различным технологическим действиям: замене электродвигателей, насосов,

ремонту оснований, замене анкерных болтов, виброизолирующих опор и т.д. При этом часто здания и сооружения содержатся в ненадлежащем состоянии (неплотности в элементах конструкции здания, отсутствие остекления и т.п.), допускаются нарушения нормативных требований по монтажу оборудования, узлов и элементов, а также используется взамен их сборочные единицы, отличающиеся от исходных: использование нестандартных рамных оснований, нарушение балансировки вращающихся элементов, использование муфтовых соединений другой категории, виброизолирующих опор с другими характеристиками, монтаж трубопроводов без демпфирующих вставок и т.д.

В конечном итоге вибрационные и акустические характеристики энергетического оборудования ухудшаются: появляются вибрации, биения, усиливается уровень структурного шума, из-за передачи вибраций на другие конструктивные узлы появляются дополнительные источники структурного шума. Изменение шумовых характеристик необходимо оценивать путем сравнения акустической мощности оборудования, указанной в паспорте и рассчитанной при эксплуатации. Но определить акустическую мощность работающего энергетического оборудования крайне сложно, а у некоторых агрегатов - практически невозможно. Поэтому этот метод оценки изменения акустических характеристик работающего энергетического оборудования не перспективен. В работе предложен другой подход к решению этой задачи. Суть метода заключается в одновременном измерении и гармоническом анализе вибрационного и акустического сигналов. Акустический сигнал записывается в ближнем акустическом поле. При анализе спектральных характеристик вибросигнала, можно заметить, что, например, нарушение условий монтажа или дисбаланс вращающихся элементов конструкции, расцентровка или перекос валов приводят к появлению вибрации оборудования на определённых частотах и, как следствие, к формированию структурного шума на доминирующей частоте, равной частоте вибрации. Это отчетливо проявляется на частотных спектрах акустического сигнала. При появлении в спектре акустического сигнала уровней звукового давления на других частотах (не характерных данному оборудованию), местоположение микрофона в исследуемом поле менялось. Запись сигналов проводилась в том месте, где доминирующим уровнями звукового давления являлись пульсации давления на исследуемых частотах. Следует отметить, что на спектре вибросигнала, записанного на оборудовании с исправными узлами частоты с доминирующими амплитудами, практически отсутствуют. Этот метод использовался при поиске основных источников шума в цехах районных котельных. Далее, путем визуального осмотра и использования специальных приборов (виброметра, балансировочного прибора ЦБ-3) определялись причины нарушения технического состояния отдельных узлов и элементов оборудования.

Для примера, при осмотре помещения цеха сетевой воды РК «Савиново» отмечено, что цех не оборудован вибро- и шумоизоляцией. Сетевые насосы и двигатели смонтированы на отдельные бетонные основания без вибродемпфирующих подложек или опор, трубопроводы на входе и выходе из насосов, а также при прохождении через стены цеха не имеют компенсаторов, в точках опоры энергетического оборудования отсутствуют виброизолирующие прокладки. Все эти нарушения условий монтажа способствуют формированию структурного шума. Это было доказано сравнительным анализом спектральных характеристик вибро- и акустических сигналов.

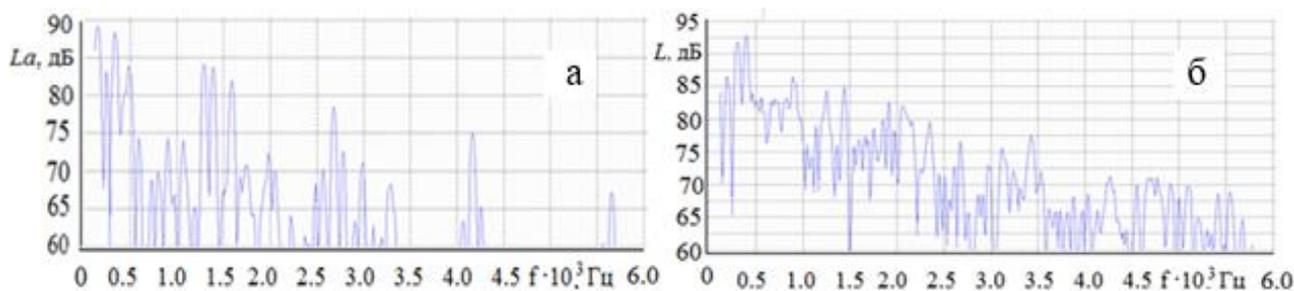


Рисунок 1 – Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов электродвигателя сетевого насоса СЭ-2500-180

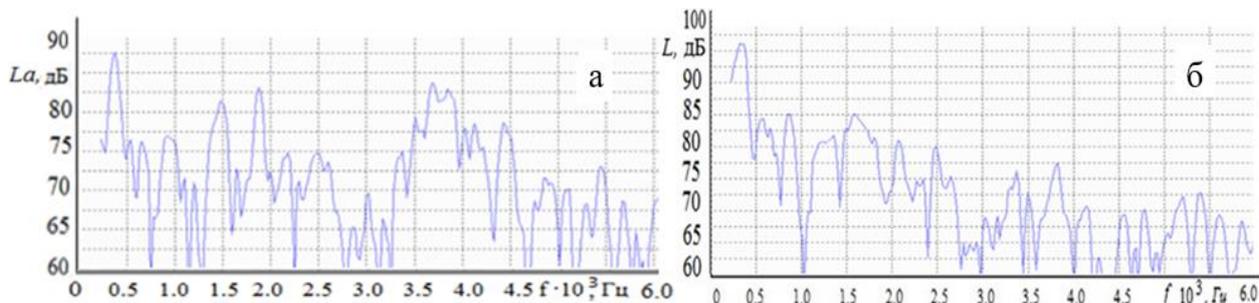


Рисунок 2 – Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов сетевого

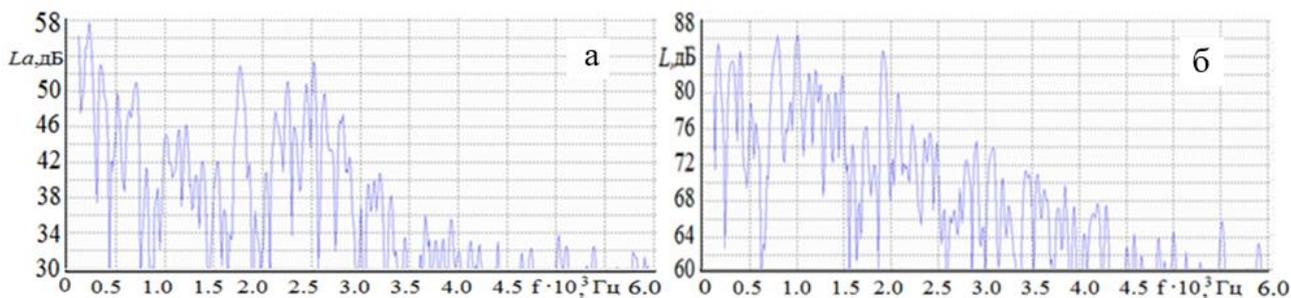


Рисунок 3 – Спектры вибрационного (а) и акустического (б) сигналов (вибродатчик установлен на стене цеха сетевой воды РК «Савиново»)

На рисунках 1, 2, 3 приведены спектры вибрационных и акустических сигналов, записанных в один и тот же момент времени применительно к электродвигателю насоса, самому насосу, а также участку стены в месте прохождения через нее трубопровода РК «Савиново».

Анализ частотных спектров двигателя показал, что наибольшие значения уровня звукового давления наблюдаются и в октавных полосах низких частот, в области средних частот (400 Гц) и в диапазоне высоких частот (1250-1500 Гц). Причиной их возникновения является работа электродвигателя. Вибрационные колебания, возникающие в электродвигателе, передаются водяному насосу. На спектральной характеристике вибросигнала насоса в области низких частот и в диапазоне высоких частот 1400-1500 Гц присутствуют «энергонесущие частоты», которые наблюдались и в спектре вибросигнала электродвигателя. Это объясняется тем, что водяной насос и электродвигатель между собой связаны кинематической (жесткой) связью, которая не обеспечивает требуемую соосность. Вибрации легко передаются от одного агрегата к другому. Далее, из-за колебаний корпуса насоса появляется шум, который распространяется в окружающем пространстве. Вибрации от корпуса насоса по трубопроводу передаются также стенам корпуса. Для этого регистрировался вибросигнал со стен цеха. На спектрах вибросигнала, снятого со стены

цеха, имеются частоты, присутствующие в соответствующих спектрах насоса и питающего его электродвигателя. 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 источником структурного шума. 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 шума.

Аналогичный анализ был проведен на районных котельных «Горки» и «Азино». Был установлен ряд причин шумообразования, характерных для всех рассматриваемых объектов:

1. Отсутствие виброопор, виброизолирующих покрытий, виброизолирующих фундаментов энергооборудования.
2. Отсутствие виброизолирующих вставок (компенсаторов), виброизолирующих прокладок.
3. Неплотности в элементах конструкции здания, отсутствие остекления и т.п.

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 РК «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.

Для моделирования распространения звука на территории использовалось отечественное программное обеспечение АРМ «Акустика». На цифровую модель рельефа (топооснову) были нанесены жилые здания селитебной зоны, территория и здание РК «Савиново». Внутри здания смоделированы все имеющиеся производственные участки и основные источники шума. Шумовые характеристики всех источников шума определялись экспериментально и в программу заложены данные натурных измерений. На границе предприятия смоделирован забор. Жилой массив представлен одно- и двухэтажными домами с приусадебными участками.

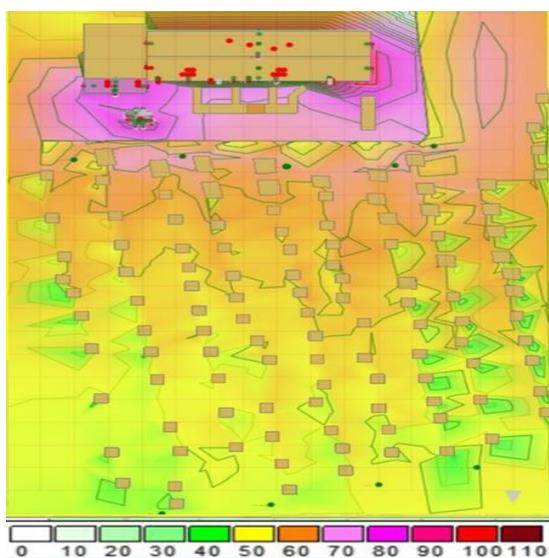


Рисунок 4 – Шумовая карта района при работе всех источников шума

Визуализация проведенных расчетов в виде шумовой карты приведена на рисунке 4. Разработанная экспериментально-теоретическая модель шумового поля объекта далее использовалась для оценки эффективности технических решений по снижению шума.

Разработка приемлемого технического решения для снижения шума применительно к конкретному источнику шума является достаточно сложной технической задачей. Одновременно приходится решать несколько вопросов: 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.

Первым вариантом шумозащитных мероприятий предлагались акустические экраны. Экраны моделировались вдоль забора РК «Савиново» со сторон расположения жилых домов. Параметры экранов выбирались из ряда, предлагаемого изготовителями. Исследовалось влияние высоты (3, 6, 9, 12 метров) и толщины (0,12-1 метр) акустического экрана. Наибольшее снижение шума ожидаемо достигается установкой экрана 12 метров высотой и толщиной в 1 метр. Согласно расчетам, при установке такого экрана предельно допустимые уровни шума достигаются в большинстве контрольных точек.

Вторым вариантом защиты от шумового загрязнения окружающей среды предложено внедрение комплекса технических решений, включающего в себя:

1. Установка каждого сетевого насоса СЭ-2500-180 и электродвигателя 4АЗМ-1600/6000 УХЛ4 на общую массивную платформу с обеспечением соосности и динамической балансировки.
2. Для уменьшения вибраций фундаментов машин с динамическими нагрузками, дополнительно к п.1 установка платформы на виброизолирующий фундамент.
3. Тягодутьевые машины: (дымосос ДН24х2-0,62ГМ и его электродвигатель ДАЗО2-17-44-8/10-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 виброизолирующие фундаменты с обязательным отделением их сквозным швом от смежных фундаментов: здания, оборудования и пола, у входных каналов системы всасывания дутьевых вентиляторов установить звукоизолирующие кожухи.
4. 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.
5. 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.
6. С целью снижения структурного шума от газопровода установка виброизолирующих прокладок в местах крепления трубы к стене предприятия и на опорах.
7. Для снижения высокочастотной составляющей шума рекомендуется установить на газопровод звукопоглощающий чехол. Данный метод обеспечит снижение шума в зоне прохождения газовой трубы до 30 дБ.
8. Для снижения шума на пути распространения рекомендуется установка вокруг предприятия акустических 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.
9. Установка оконных блоков из ПВХ профилей взамен существующим.

Для оценки эффективности комбинированных технических решений также использовалась разработанная модель шумового поля. Результаты расчета акустической обстановки представлены на рисунке 5.

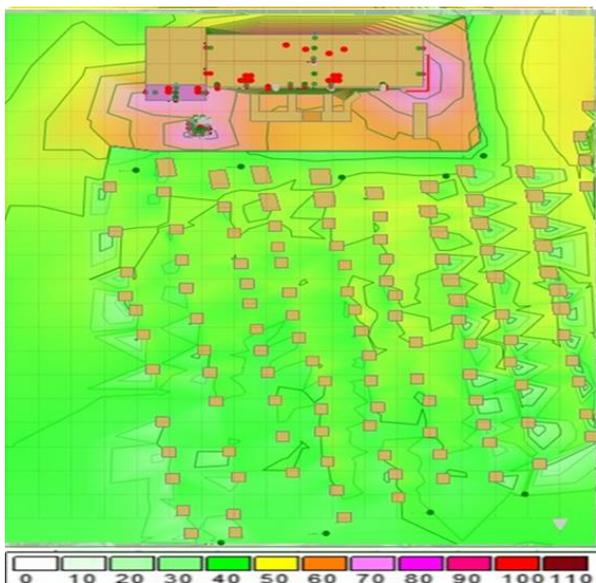


Рисунок 5 - Шумовая карта при комбинированном решении

Анализ результатов показал, что применение комплекса технических решений способствует значительному снижению уровня шума в окружающей среде.

Также в третьей главе приведена эколого-экономическая оценка различных вариантов достижения санитарных норм по шуму в жилом массиве. Обеспечение режима санитарно-защитной зоны: отселение жителей за ее пределы составит ~ 520 млн. рублей. Подавление шума на путях распространения установкой акустического экрана (высота 12 м, толщина 1 м, длина 300 м) составит ~ 92 млн. рублей. Ориентировочная стоимость комплекса технических решений составит ~ 42,4 млн. рублей.

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.

На районной котельной «Савиново» на конец 2019 года реализованы следующие технические решения:

1. 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 и проведена звукоизоляция здания ГРП. В результате этих мероприятий уровень шума около здания снизился в среднем на 15 дБА.

2. Заменено остекление цеха сетевой воды на пластиковые окна с тройными стеклопакетами, уровень шума с южной стороны цеха снизился в среднем на 10 дБА. В здании котельного цеха восстановлено остекление.

3. Входные каналы системы всасывания дутьевых вентиляторов закрыты звукоизолирующими кожухами. Уровень шума снизился на 7 дБА.

4. Выполнена изоляция металлическими кожухами со звукопоглощающей прокладкой газопровода после здания ГРП, что обеспечило снижение шума в высокочастотной части спектра. Уровень общего шума снижен на 20 дБА.

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

В жилом массиве в контрольных точках, расположенных в 10 метрах от забора предприятия, выполненные мероприятия обеспечили снижение шума от 9 до 17дБА. Для примера на рисунке 6 приведены уровни звукового давления в точке, расположенной в зоне воздействия работы воздухозаборов дутьевых вентиляторов.

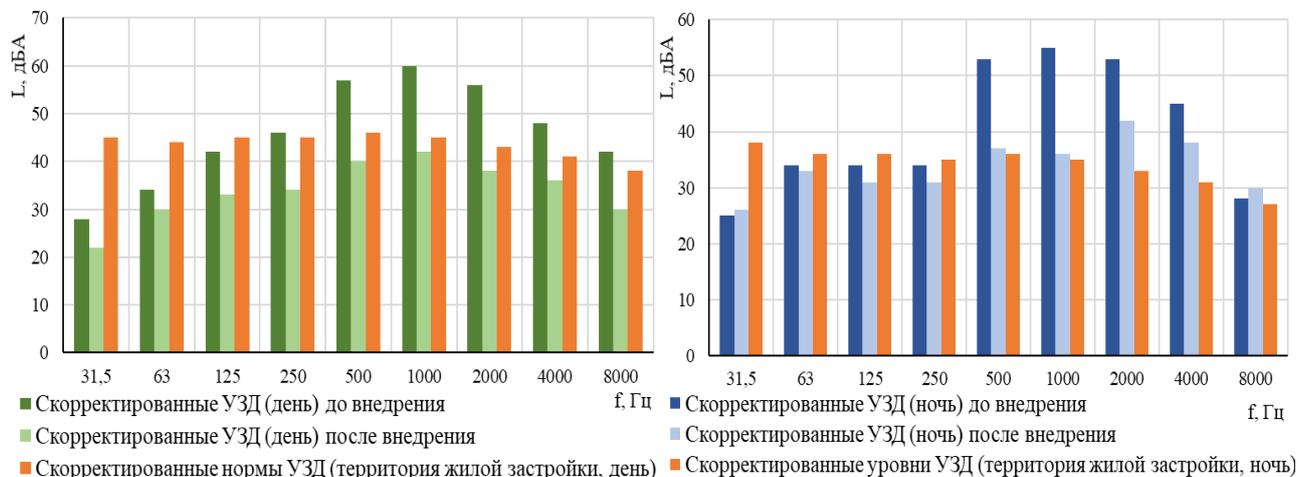


Рисунок 6 – Октавные спектры шума (день/ночь)

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 данной точке снижен на 17 дБА.

На рисунке 7 приведены уровни звукового давления в контрольной точке, расположенной 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.

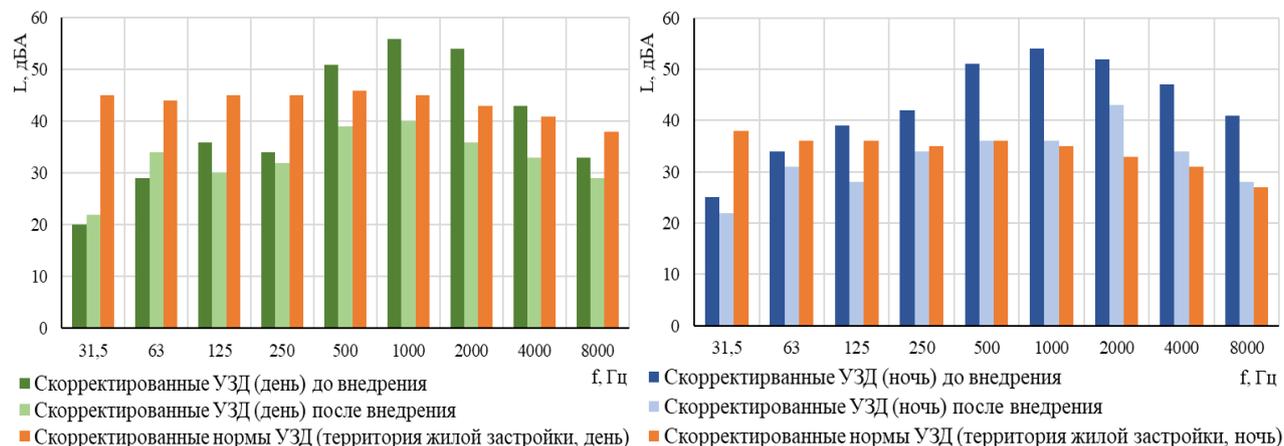


Рисунок 7 – Октавные спектры шума (день/ночь)

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.

Экспериментальные данные изменения уровня шума после внедрения инженерных решений позволили получить зависимости УЗД по октавным полосам частот в ближнем акустическом поле от технического состояния зданий и сооружений, конструктивных узлов и элементов энергетического оборудования районных котельных (рис. 8).

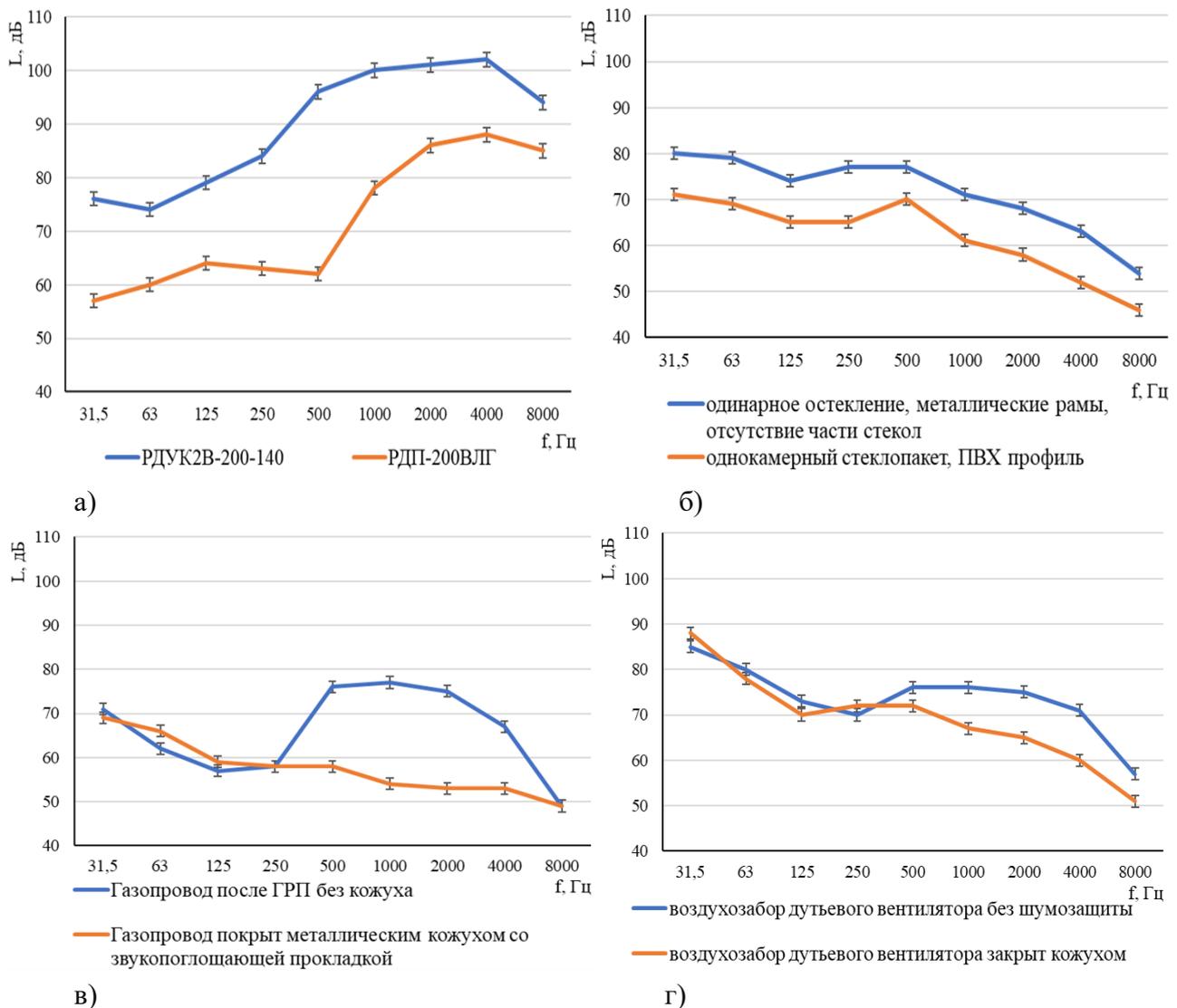


Рисунок 8 -Зависимость УЗД в октавных полосах частот:

а) от типа газорегулирующего оборудования, б) от состояния и вида остекления производственных помещений, в) от установки металлических кожухов со звукопоглощающей прокладкой на газопровод, г) от установки звукоизолирующих кожухов на воздухозаборы дутьевых вентиляторов.

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, в отличие от ТЭЦ и ТЭС 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

звуча 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 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.

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 раздельной выработки тепла на существующие системы теплоснабжения городов.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных SCOPUS и Web of Science

1. 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.

Статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации

1. 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.

2. 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.

Публикации в материалах докладов международных и всероссийских конференций

1. 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. Санкт-Петербург:

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 2015. С. 367-373.

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

3. Горбунова О.А. Моделирование акустического поля компрессорного оборудования и оценка эффективности акустического экрана // XI Международная молодежная науч. конф. «Тинчуринские чтения». Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2016. С. 286.

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

5. 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.

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

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

8. Горбунова О.А. Оценка эффективности комплекса технических решений повышения экологической безопасности функционирования районных котельных // Междунар. научно-практ. конф. «Инновационные подходы к решению проблем «Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий на 2015 – 2030 годы»». Казань: Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ, 2018. С. 243-246.

9. 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>.

Подписано к печати
Гарнитура «Times»
Физ. печ. л. 1,16
Тираж 100 экз.

20.10.2020 г.
Вид печати цифровая
Усл. печ. л. 1,10
Заказ № 20

Формат 60x84/16
Бумага офсетная
Уч.-изд. л. 1,00

Типография ОАО Казанский завод «Электроприбор»

420061, г. Казань, ул. Н. Ершова, 20