



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
филиал ФГБОУ ВО «РГГМУ» в г. Туапсе

Кафедра «Метеорологии экологии и природопользования»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)
по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование»
(квалификация – бакалавр)

На тему «Сравнительный анализ выбросов от работы котельной на разных видах топлива»

Исполнитель: Нагучев Вадим Хамедович

Руководитель: к.с.-х.н., доцент Цай Светлана Николаевна

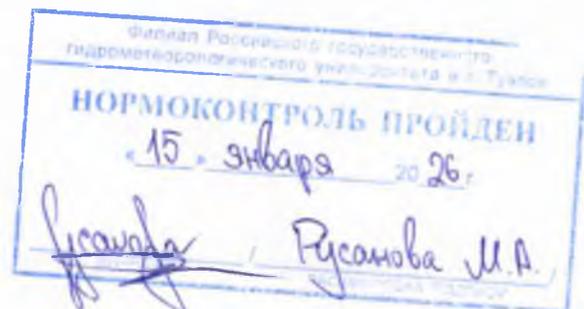
«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

Сцай

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Цай Светлана Николаевна

«15» января 2026 г.



Туапсе
2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1 Природно-климатические условия района размещения объекта исследования	6
1.1 Географическое положение и климатическая характеристика района ...	6
1.2 Характеристика местоположения и окружающей среды площадки котельной	12
2 Сравнительная оценка воздействия на атмосферный воздух котельных установок при использовании различных видов топлива	20
2.1 Характеристика котельных установок Небугского сельского поселения как источников загрязнения атмосферы	20
2.2 Сравнительный анализ эмиссионного профиля (состава и объема выбросов) при работе на мазуте и природном газе	31
3 Разработка мероприятий по снижению негативного воздействия на атмосферный воздух	44
3.1 Рекомендуемые природоохранные и технологические мероприятия .	44
3.2 Оценка эффективности и обоснование предложенных мероприятий .	50
Заключение	58
Список литературы	60

Введение

Актуальность темы исследования. Проблема загрязнения атмосферного воздуха выбросами от объектов теплоэнергетики сохраняет высокую экологическую и социально-экономическую значимость, особенно в условиях урбанизированных территорий и рекреационных зон. В Российской Федерации, несмотря на активную политику газификации, значительное количество котельных, особенно в сельской местности и в удаленных районах, продолжает использовать твердое и жидкое топливо (мазут), что является источником повышенных выбросов загрязняющих веществ. Сравнительный анализ эмиссионного профиля при использовании различных видов топлива позволяет количественно оценить экологический эффект от модернизации или перевода котельных на более экологичные энергоносители, что является ключевым элементом в планировании природоохранных мероприятий и переходе к принципам наилучших доступных технологий (НДТ). Данное исследование, проведенное на примере Небугского сельского поселения, является своевременным и практически значимым для обоснования решений в области экологической безопасности и устойчивого развития территории.

Объектом исследования являются котельные установки, расположенные на территории Небугского сельского поселения и использующие в качестве топлива мазут и природный газ.

Предметом исследования выступают объемы и качественный состав выбросов загрязняющих веществ от данных котельных установок в атмосферный воздух.

Целью выпускной квалификационной работы является проведение сравнительного анализа выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от котельных установок при работе на мазуте и природном газе и разработка на этой основе природоохранных мероприятий.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- изучить природно-климатические условия района размещения объекта исследования;
- выполнить сравнительную оценку воздействия на атмосферный воздух котельных установок при использовании различных видов топлива;
- провести разработку мероприятий по снижению негативного воздействия на атмосферный воздух.

Теоретической и методической основой работы послужили труды отечественных и зарубежных ученых в области промышленной экологии, охраны атмосферного воздуха, экологического мониторинга и оценки воздействия на окружающую среду. В работе использованы методы: сравнительного анализа, расчетный метод (по методикам сводных расчетов загрязнения атмосферы и государственных нормативных документов), системного подхода, статистической обработки данных, картографический метод.

Информационную базу исследования составили: данные Росгидромета и Росприроднадзора, государственные доклады о состоянии окружающей среды, нормативно-правовые акты Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха и технического регулирования (ФЗ №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха», ГОСТы, методические указания), проектная и техническая документация по котельным установкам, данные инвентаризации выбросов, справочные и литературные источники.

Теоретическая значимость работы заключается в систематизации и применении методологии сравнительной оценки эмиссионных профилей для объектов малой энергетики в конкретных природно-климатических условиях. Полученные результаты вносят вклад в развитие региональных аспектов экологии и природопользования.

Практическая значимость состоит в том, что результаты проведенного анализа и разработанные мероприятия могут быть использованы администрацией Небугского сельского поселения и эксплуатирующими организациями для:

- планирования мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду;
- обоснования инвестиций в модернизацию или перевод котельных на более экологичное топливо;
- актуализации раздела «Охрана атмосферного воздуха» в составе проектной документации;
- повышения эффективности экологического контроля и менеджмента.

Структура работы обусловлена целью и задачами исследования и включает введение, три главы, заключение и список использованной литературы. Во введении обосновывается актуальность, формулируются цель, задачи, объект и предмет исследования. Первая глава посвящена анализу природно-климатических условий района, определяющих особенности рассеивания выбросов. Вторая глава содержит сравнительную оценку воздействия котельных на атмосферный воздух при работе на разных видах топлива. В третьей главе разрабатываются и обосновываются мероприятия по снижению выбросов. В заключении представлены основные выводы по результатам проделанной работы.

1 Природно-климатические условия района размещения объекта исследования

1.1 Географическое положение и климатическая характеристика района

Анализ воздействия любого хозяйственного объекта на состояние атмосферного воздуха неотделим от изучения природно-климатических условий территории его размещения. Эти условия формируют потенциал самоочищения атмосферы, определяют особенности рассеивания и трансформации загрязняющих веществ, а в конечном итоге — уровень экологического риска для окружающей среды и населения. Район расположения Небугского сельского поселения обладает специфическим набором географических и климатических характеристик, обусловленных его положением на черноморском побережье Кавказа.

На территории Туапсинского района Краснодарского края, в центральной части его курортной зоны на черноморском побережье, расположено Небугское сельское поселение (рисунок 1.1). Его положение между Новомихайловским городским поселением и городом Туапсе определяет высокую рекреационную значимость данной местности [25, с. 167].



Рисунок 1.1 – Географическое расположение с. Небуг

С географической точки зрения поселение находится в гористой местности на южном склоне Главного Кавказского хребта. Рельеф территории

характеризуется как сильно пересеченный, где основные равнинные участки приурочены к узкой приморской полосе и устьям рек. Преобладают средние высоты около 300 метров над уровнем моря, а максимальной отметкой является гора Агой высотой 994 метра. Общая площадь муниципального образования составляет 242,41 км². Западная граница территории формируется побережьем Черного моря, что оказывает определяющее влияние на местный климат. На северо-западе поселение граничит с Новомихайловским городским поселением, на севере — с Шаумянским сельским поселением, на востоке — с землями Георгиевского и Вельяминовского сельских поселений, а на юго-востоке — с Туапсинским городским поселением.

Климат района можно охарактеризовать как влажный, приближенный к субтропическому, что обусловлено влиянием Черного моря и барьерной ролью Кавказских гор. Как видно на климатическом графике (рисунок 1.2), среднегодовое количество осадков достигает примерно 1100 мм с четко выраженным зимним максимумом.



Рисунок 1.2 – Климатический график в с.Небуг

Гидрографическая сеть представлена преимущественно бассейнами рек Агой и Небуг, а также многочисленными мелкими водотоками,

непосредственно впадающими в Черное море. Для верховьев рек характерно наличие порогов и водопадов. Также на территории отмечаются выходы минеральных родниковых источников.

Наиболее влажным месяцем является январь (около 134 мм осадков), а наиболее сухим — август (около 61 мм). Годовой ход температуры (рисунок 1.3) [25, с. 169] демонстрирует мягкую зиму и теплое лето: средняя температура самого холодного месяца, января, составляет около $+2.0^{\circ}\text{C}$, а самого теплого, августа, достигает $+23.5^{\circ}\text{C}$ [25, с. 169].

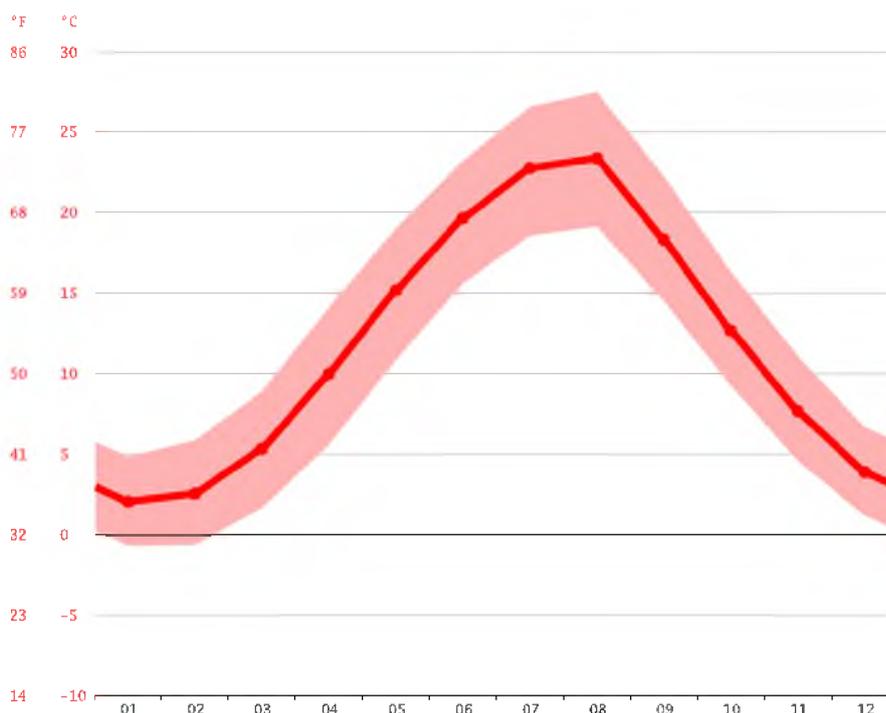


Рисунок 1.3 – Годовой ход температуры в с. Небуг

Таким образом, сочетание сложного рельефа и специфических климатических условий формирует особый потенциал для рассеивания или, наоборот, накопления загрязняющих веществ в атмосфере, что необходимо учитывать при оценке воздействия хозяйственных объектов.

В среднем 23.4°C , август является самым теплым месяцем. Самые низкие средние температуры в год приходятся на январь, когда температура атмосферного воздуха составляет около 2.0°C (таблица 1.1).

Годовой ход метеорологических параметров в районе Небугского сельского поселения демонстрирует характерную для черноморского

побережья Кавказа выраженную сезонность. Анализ климатических данных позволяет выделить ключевые закономерности, важные для оценки потенциала атмосферного рассеивания загрязняющих веществ.

Таблица 1.1 – Климатическая характеристика с. Небуг

Месяц Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средний температура (°C)	2	2.5	5.3	10	15.2	19.6	22.8	23.4	18.3	12.7	7.7	3.9
минимум температура (°C)	-0.7	-0.7	1.6	5.6	10.8	15.6	18.6	19.1	14.5	9.3	4.6	1.2
максимум температура (°C)	4.8	5.8	8.9	14.1	19	23.2	26.6	27.5	22.3	16.3	11.1	6.7
Норма осадков (мм)	134	94	100	77	84	85	63	61	90	116	125	134
Влажность (%)	79 %	76%	76%	75%	76%	75%	70%	66%	72%	77%	80%	79%
Дождливые дни (Д)	11	9	10	8	8	7	6	5	6	7	8	10
долгота дня (часы)	4.6	5.7	6.6	8.9	10.1	11.1	11.7	11.1	9.5	7.5	5.9	4.8

Годовая амплитуда температур составляет 21.3 °C, что указывает на умеренную континентальность климата, смягчаемую морским влиянием (рисунок 1.4) [25, с. 170].

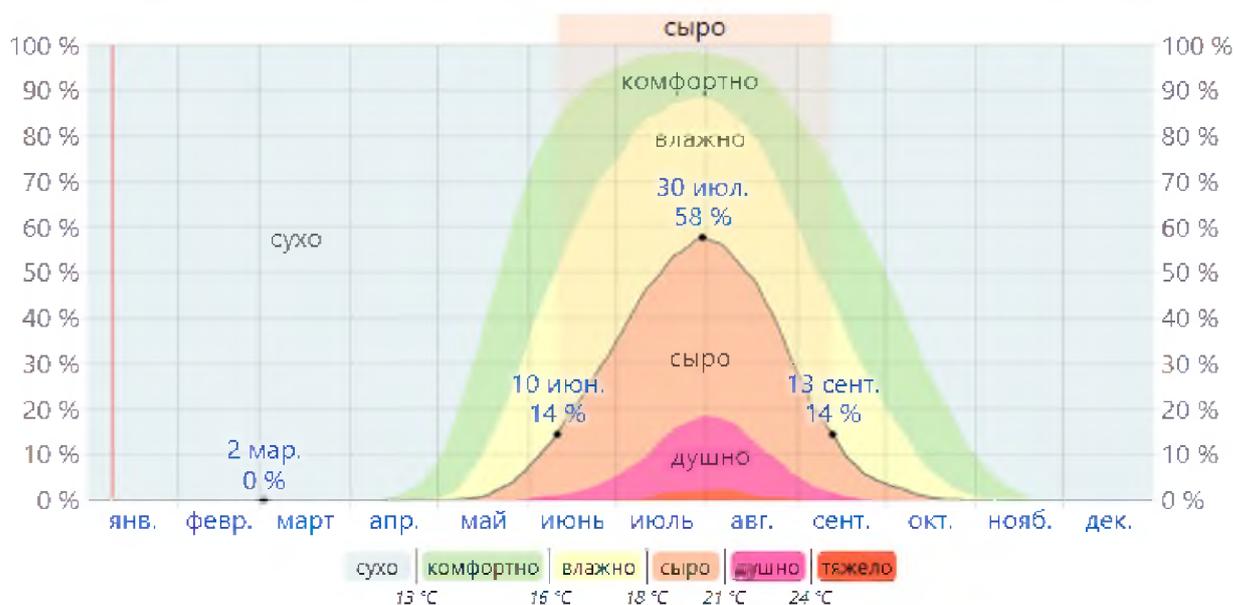


Рисунок 1.4 – Уровни влажности в с. Небуг

Разница между количеством осадков в наиболее сухой и наиболее влажный месяцы достигает 73 мм. Распределение осадков в течение года носит ярко выраженный неравномерный характер. Наибольшее их количество, а также максимальное число дней с осадками (в среднем 14.23 дня), отмечается в зимний период, с пиком в декабре (до 11.3 дней). Преобладающей формой осадков является дождь, с максимальной вероятностью его выпадения (36%) в начале декабря. Напротив, наиболее сухим является август, для которого характерно минимальное среднее количество дней с осадками – 5.9.

Важным параметром, влияющим на экологическую обстановку, является влажностный режим. Наблюдаются значительные сезонные колебания относительной влажности воздуха: от 65.90% в августе до 79.98% в ноябре. Период с повышенной влажностью, длящийся около 6.3 месяцев (с конца октября по начало мая), создает условия, способствующие потенциальному накоплению аэрозольных загрязнений в приземном слое атмосферы. Особый дискомфорт и ухудшение условий рассеивания выбросов связаны с периодами высокой воспринимаемой влажности (духоты). Наиболее продолжительный сырой период длится с июня по сентябрь, достигая максимума в июле, когда в среднем до 15.4 дней характеризуются тяжелыми в плане влажностного комфорта условиями.

Значительные сезонные колебания характерны и для ветрового режима. В течение года выделяется более ветренная фаза (порядка 5 месяцев – с конца октября по конец марта), когда средняя скорость ветра превышает 11.6 км/ч. Максимальные среднечасовые скорости ветра, достигающие 14.7 км/ч, регистрируются в январе. Это способствует активному проветриванию территории в холодный период. Более спокойный период, длящийся около 7 месяцев (с конца марта по конец октября), отличается ослаблением ветровой активности. Минимальные скорости ветра, в среднем около 8.5 км/ч, отмечаются в мае, что в сочетании с возрастающими температурами может формировать условия для локального застоя воздушных масс.

Таким образом, климатические условия района, в частности, чередование

ветренных и штилевых периодов, а также сезонные максимумы влажности, являются критически важными факторами, которые необходимо учитывать при моделировании рассеивания выбросов и оценке экологического риска от деятельности стационарных источников, таких как котельные установки.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что географическое положение и климат Небугского сельского поселения формируют сложную и неоднородную картину условий для рассеивания загрязняющих веществ. Ключевыми факторами, определяющими экологическую обстановку в приземном слое атмосферы, являются:

- Сильно пересеченный рельеф (горный хребет, узкая прибрежная полоса), который может способствовать образованию застойных зон, затруднять естественную вентиляцию и оказывать орографическое влияние на воздушные потоки.

- Влажный субтропический климат с выраженной сезонностью, характеризующийся сочетанием периодов высокой влажности и слабых ветров (летний сезон) с более ветреным, но влажным зимним периодом.

- Четко выраженная сезонная динамика метеопараметров: амплитуда температур, смещение максимума осадков на холодный период, сезонные колебания скорости ветра и влажности.

Таким образом, территория исследования характеризуется периодическим возникновением метеорологических условий (штили, температурные инверсии, высокая влажность), неблагоприятных для рассеивания выбросов.

Данная климатическая специфика должна быть в обязательном порядке учтена при проведении сравнительного анализа выбросов и разработке мероприятий по минимизации негативного воздействия котельных на атмосферный воздух.

Полученные в данном разделе результаты являются исходными метеорологическими и географическими данными для последующих расчетов и эколого-аналитической оценки.

1.2 Характеристика местоположения и окружающей среды площадки котельной

Детальный анализ местоположения и инфраструктурного окружения источника выбросов является обязательным этапом оценки его воздействия на окружающую среду. Данные параметры напрямую определяют степень потенциального экологического риска для компонентов природной среды и населения, а также задают исходные условия для моделирования рассеивания загрязняющих веществ.

Настоящий раздел посвящён комплексной характеристике площадки размещения котельной в пос. Тюменский, включая описание её географического контекста в рекреационной зоне, анализ планировочных и строительных решений, а также описание ключевых технологических систем объекта. Полученные сведения формируют пространственно-техническую основу для последующего сравнительного расчёта выбросов и оценки экологических последствий эксплуатации котельной на различных видах топлива.

Объектом исследования выступает котельная установка, расположенная в посёлке Тюменский Туапсинского района на территории курортной зоны. Площадка для её размещения выбрана в северной части санаторного комплекса, в непосредственной близости от автостоянки, прилегающей к автодороге Геленджик–Туапсе. Участок под застройку общей площадью 1701 м² исторически является техногенным, так как был сформирован в ходе планировочных работ при обустройстве инфраструктуры санатория. Абсолютные высотные отметки поверхности здесь варьируются от 58.00 до 64.00 метров над уровнем моря, а покрытие представлено асфальтобетонным слоем.

Котельная предназначена для покрытия нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, где размещаются следующие основные объекты (рисунок 1.5).

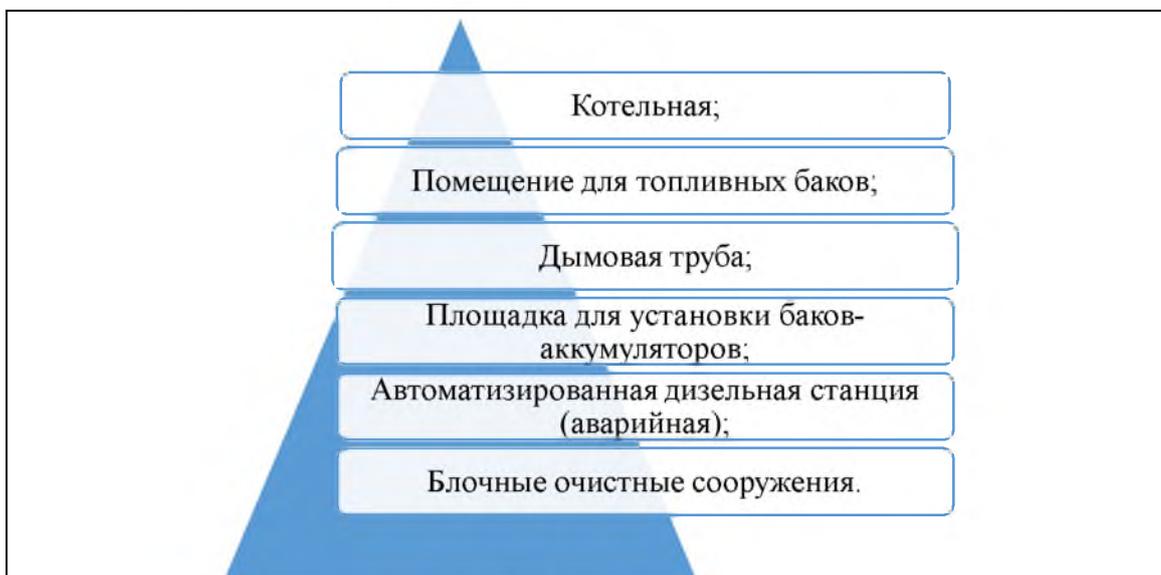


Рисунок 1.5 – Объекты котельной

Абсолютные отметки поверхности изменяются от 58,00 до 64,00 метров. Покрытие асфальтобетонное. Поправочный коэффициент на рельеф местности составляет 2 согласно справке Гидрометцентра (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Метеорологические характеристики условий рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере

	Величина
Коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы, А	200,0
Коэффициент рельефа местности в городе	2,0
Средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, Т, С	28,6
Средняя температура наиболее холодного месяца (для котельных, работающих по отопительному графику), Т, С	3,5
Среднегодовая роза ветров, %	
С	12,0
СВ	32,0
В	7,0
ЮВ	10,0
Ю	17,0
ЮЗ	11,0
З	8,0
СЗ	3,0
Скорость ветра, повторяемость превышения которой по многолетним данным составляет 5%, м/с	11,0

Географический контекст местности характеризуется близостью к Черному морю, которое находится примерно в 500 метрах к югу от площадки. Непосредственное окружение составляют рекреационные объекты: с восточной

стороны расположен пансионат «Радуга», с западной — пансионат «Майский». Ближайший жилой корпус санатория отстоит от площадки котельной на 20 метров в юго-восточном направлении, при этом он находится ниже по склону с перепадом высот около 6 метров. Близость жилой застройки и рекреационных зон обуславливает повышенные требования к экологической безопасности данного объекта.

Согласно действующим санитарным нормам (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03), для котельных установок малой мощности, работающих на газовом или жидком топливе, размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) устанавливается на основе расчётов рассеивания загрязняющих веществ. Для рассматриваемого объекта нормативная СЗЗ была принята равной 50 метрам. Важным фактором для проведения таких расчётов является поправочный коэффициент на рельеф местности, который для данной площадки, согласно данным Гидрометцентра, составляет 2. Это значение указывает на значительное влияние пересечённого рельефа на процессы рассеивания выбросов, что необходимо учитывать при оценке воздействия.

Инженерное обеспечение площадки включает подключение к существующим сетям. Водоснабжение котельной осуществляется от централизованного водопровода, а водоотведение – через проектируемые канализационные сети с последующей врезкой в действующую систему. Особое внимание уделено очистке поверхностных стоков. Ливневые воды, а также производственные стоки от мойки полов, организованно отводятся на локальные очистные сооружения. Монтаж и наладку данного очистного оборудования производит специализированная организация, имеющая соответствующие лицензии, что гарантирует соблюдение экологических требований.

Таким образом, выбранная площадка представляет собой обустроенный участок в курортной местности, интегрированный в существующую инфраструктуру. Однако её расположение вблизи жилых и рекреационных объектов, а также особенности рельефа, формирующие повышенный

поправочный коэффициент, определяют необходимость тщательного экологического обоснования деятельности и разработки эффективных природоохранных мер.

Учитывая предусмотренную технологическую схему работы котельной, необходимость соблюдения противопожарных норм, кроме основных конструкций, построены еще и вспомогательные сооружения (рисунок 1.6).

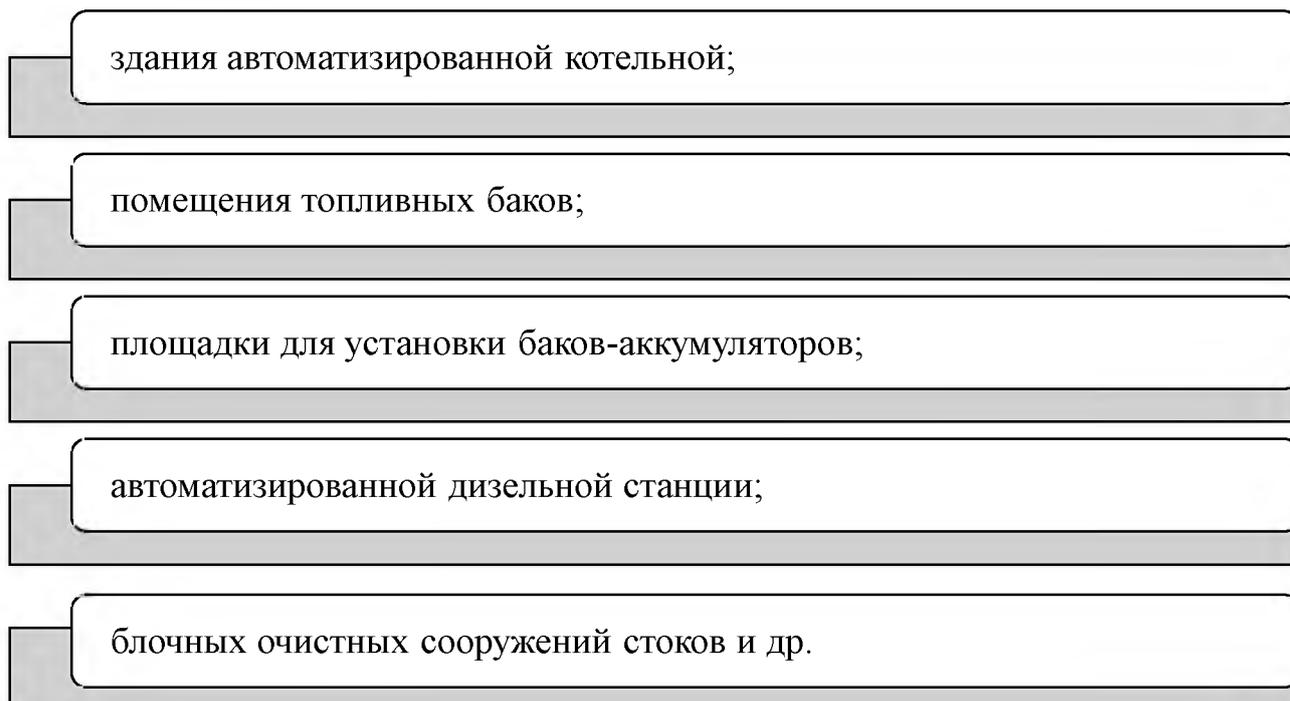


Рисунок 1.6 – Вспомогательные сооружения к котельной

В процессе строительства котельной, учитывая стесненные условия сложившейся застройки и значительный уклон местности, были проведены необходимые подготовительные работы. Для безопасной работы грузоподъемных механизмов при возведении подземной и наземной частей сооружения осуществлялся вывоз излишков грунта и строительных отходов за пределы площадки на расстояние до 14 километров. Планировочные решения были увязаны с существующими высотными отметками прилегающей территории, что обеспечило интеграцию нового объекта в текущий ландшафт.

Общая площадь отведённого земельного участка составляет 1701 квадратный метр. Непосредственно под застройку отводится 115 м², что

формирует коэффициент застройки на уровне 7%. Значительная часть территории (822 м²) имеет асфальтобетонное покрытие, используемое для организации проездов и стоянки автотранспорта, в том числе для противопожарных нужд. На озеленение отведено 212 квадратных метров. Поверхностный сток с территории организован через систему дождеприёмников, откуда ливневые воды направляются в сеть канализации и далее на локальные очистные сооружения блочного типа.

Основу технологического оборудования котельной составляют три водогрейных котла модели КВ-2.0, теплопроизводительностью каждого 2.0 МВт (1.72 Гкал/ч). Технические параметры агрегатов детализированы в соответствующей таблице. Система водоснабжения подключена к существующим внутриплощадочным сетям, а качество исходной воды соответствует установленным санитарным нормам [23].

По химическому анализу исходной воды подбираются реагенты, с помощью которых из воды устраняются их накипеобразующие свойства. Полный комплект технических параметров используемых котлов приведен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Технические параметры эксплуатируемых котлов [22]

Наименование показателя	Котел КВ 2.0
Номинальная <u>теплопроизводительность</u> МВт(Гкал/ч)	2.0(1.72)
Вид топлива	жидкое топливо или пр.газ
Рабочее давление воды, МПа(кгс/см ²) не более	0.6 (6.0)
Минимальная температура воды на входе в котел , С	70
Максимальная температура на выходе из котла, С	115
Номинальное гидравлическое сопротивление МПа(кгс/см ²) При расчетном перепаде температур	0.01 (0.1)
Минимальная температура уходящих <u>газов</u> ,С	190
Коэффициент полезного действия ,%	93
Расход воды при перепаде температур 45 с,м ³ /ч	142.1
Объем котла, м ³	18.8
Поверхность нагрева ,м ²	216.38
Категория размещения по ГОСТ 15150-69	3
Климатическое исполнение	УХЛ4
Масса ,кг не более	20000

Ключевым элементом водоподготовки является установка «Комплексон-б», производительностью до 3.0 м³/ч. Её функция заключается в обработке воды, поступающей из поселкового водопровода, для подпитки теплосетей. Химический состав исходной воды анализируется, и на основе этого подбираются реагенты, предотвращающие образование накипи. Важным экологическим преимуществом данной установки является замкнутость цикла, исключающая образование сточных вод, а также её компактность, низкий расход реагентов и автоматический режим работы, не требующий постоянного лабораторного контроля.

Технологический цикл рассматриваемой котельной основан на работе трёх водогрейных котлов марки КВ-2,0, один из которых выполняет роль резервного. Их номинальная теплопроизводительность составляет 2,0 МВт/час каждый, что в сумме дает 6 МВт или 5,16 Гкал/час. Агрегаты функционируют на дизельном топливе (ГОСТ 305-82) с годовым расходом 1159,736 тонн. Ключевой особенностью объекта является его принадлежность ко второй категории по надёжности отпуска тепла и полностью автоматизированный режим работы, не требующий постоянного присутствия персонала.

В качестве теплоносителя в замкнутой двухтрубной системе используется сетевая вода. Первичный контур, работающий на параметрах 110/70 °С, служит для подготовки в пластинчатых теплообменниках вторичного теплоносителя с рабочими параметрами 95/70 °С [17, с. 15]. Поддержание заданного температурного графика в зависимости от наружной температуры осуществляется автоматически с помощью трёхходового клапана с электроприводом, регулирующим подмес обратной сетевой воды в прямой трубопровод. Подготовленный теплоноситель разделяется на два потока: один направляется непосредственно в систему отопления и вентиляции потребителей, а другой используется для нужд горячего водоснабжения (ГВС) через индивидуальные тепловые пункты. Циркуляция в сети обеспечивается сетевыми насосами.

Подготовка воды для системы ГВС осуществляется в отдельных

пластинчатых теплообменниках, где она нагревается до 70 °С. Далее горячая вода аккумулируется в двух баках-накопителях объёмом по 40 м³ каждый и подаётся в распределительную сеть специализированными насосами. Для обеспечения точного учёта энергоресурсов на выходящих трубопроводах установлены теплосчётчики различного диаметра.

Особое внимание в проекте уделено водоподготовке. Исходная вода из муниципального водопровода перед использованием проходит комплексную обработку. Для предотвращения накипеобразования применяется автоматическая система дозирования реагентов «Комплексон-6», принцип действия которой основан на ингибировании роста кристаллов солей жёсткости. Важным экологическим преимуществом данной установки является отсутствие сточных вод. Дополнительно для удаления растворённых газов и предотвращения коррозии оборудования используется вакуумная деаэрационная установка. Предварительная магнитная обработка воды способствует формированию защитной оксидной плёнки на внутренних поверхностях трубопроводов.

Отвод продуктов сгорания организован через общую металлическую дымовую трубу высотой 21 метр и диаметром 600 мм. На газоходах от каждого котла установлены взрывные предохранительные клапаны. Вентиляция помещений котельной — приточно-вытяжная с естественным побуждением. Контроль над всеми технологическими параметрами осуществляется с помощью комплекса показывающих и сигнализирующих приборов [22].

Таким образом, принятые компоновочные и технологические решения, включая современные системы водоподготовки и автоматического регулирования, направлены не только на обеспечение энергоэффективности, но и на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

Проведённая характеристика позволяет сделать ряд существенных выводов о площадке размещения и техническом оснащении котельной. Объект расположен в чувствительной с экологической и рекреационной точек зрения зоне – вблизи Черноморского побережья, в окружении санаторно-курортных

учреждений и жилой застройки, что изначально предъявляет повышенные требования к его экологической безопасности.

Ключевыми особенностями, влияющими на потенциал загрязнения атмосферного воздуха, являются:

– Стеснённость и сложный рельеф: Наличие перепада высот относительно ближайшей жилой застройки и поправочный коэффициент на рельеф, равный 2, указывают на высокую вероятность формирования неблагоприятных для рассеивания метеорологических условий (застоев, инверсий) в приземном слое.

– Технологическая конфигурация: Котельная оснащена типовым для малой энергетики оборудованием (три котла КВ-2,0), но с применением современных систем автоматического регулирования и водоподготовки («Комплексон-6», вакуумная деаэрация). Это свидетельствует о стремлении минимизировать эксплуатационное воздействие, однако не отменяет факта выбросов от сжигания топлива.

– Организация мониторинга и инфраструктуры: Наличие проектных решений по очистке ливневых стоков, узлов учёта и современной системы дозирования реагентов создаёт формальные предпосылки для снижения нагрузки на окружающую среду. Однако эффективность этих мер в полной мере может быть оценена только на основе количественного анализа эмиссий.

Таким образом, площадка характеризуется сочетанием факторов, усиливающих потенциальную экологическую нагрузку (расположение, рельеф), и решений, направленных на её снижение (технологии, инфраструктура). Последующее исследование должно дать количественную оценку тому, насколько выбранный вид топлива и применяемые технологические решения соответствуют жёстким экологическим ограничениям, диктуемым спецификой места расположения объекта.

2 Сравнительная оценка воздействия на атмосферный воздух котельных установок при использовании различных видов топлива

2.1 Характеристика котельных установок Небугского сельского поселения как источников загрязнения атмосферы

Для проведения достоверного сравнительного анализа выбросов загрязняющих веществ в атмосферу принципиально важным является детальное описание самих источников эмиссии. Характер, объем и качественный состав выбросов находятся в прямой зависимости от технических параметров оборудования, вида используемого топлива, режимов эксплуатации и применяемых технологических решений. Настоящий раздел посвящён всесторонней характеристике двух основных типов котельных установок, расположенных на территории Небугского сельского поселения: существующей котельной, работающей на мазуте, и внедряемой модульной котельной, использующей в качестве топлива природный газ. Анализ включает описание их местоположения, технологической схемы, основного и вспомогательного оборудования, а также систем обеспечения безопасности и автоматизации. Полученные данные формируют техническую базу для последующего расчёта и сравнения эмиссионных профилей.

Рассматриваемая котельная размещена на территории службы теплоснабжения в составе коммунального предприятия. Площадка объекта имеет следующие границы: с северной стороны примыкает к территории очистных сооружений, с западной — к зданию пожарного депо, а с восточной стороны граничит с лесным массивом. Особого внимания заслуживает юго-западное направление, где на расстоянии приблизительно 40 метров от дымовой трубы котельной начинается жилая застройка, что предопределяет повышенные требования к контролю за её выбросами (рисунок 2.1).

Котельная, находящаяся в оперативном управлении МУП «ЖКХ Небугского сельского поселения», выполняет функцию обеспечения горячей водой систем отопления жилых и общественных зданий посёлка, не

осуществляя отпуск тепла сторонним потребителям.

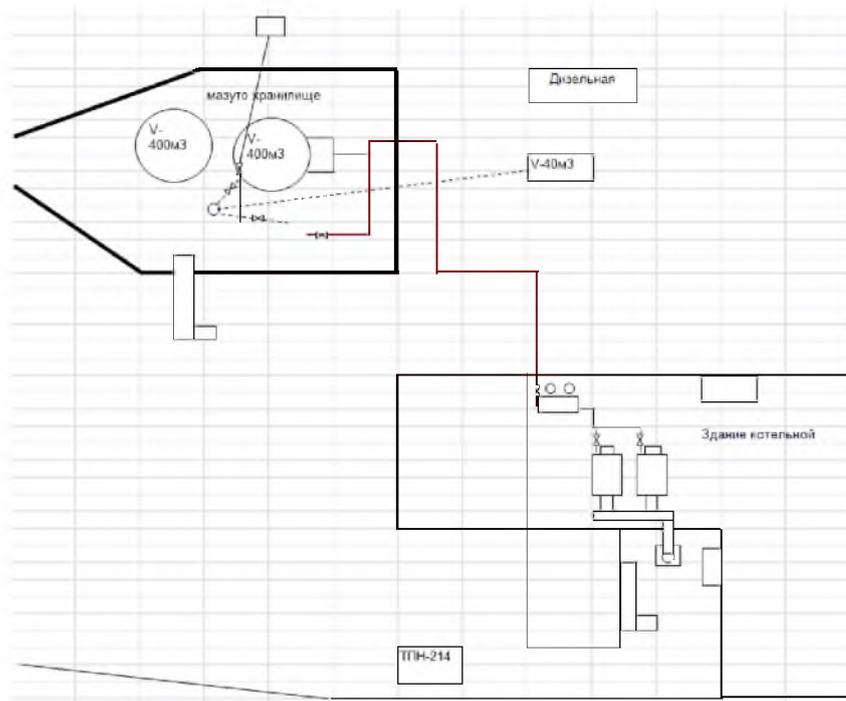


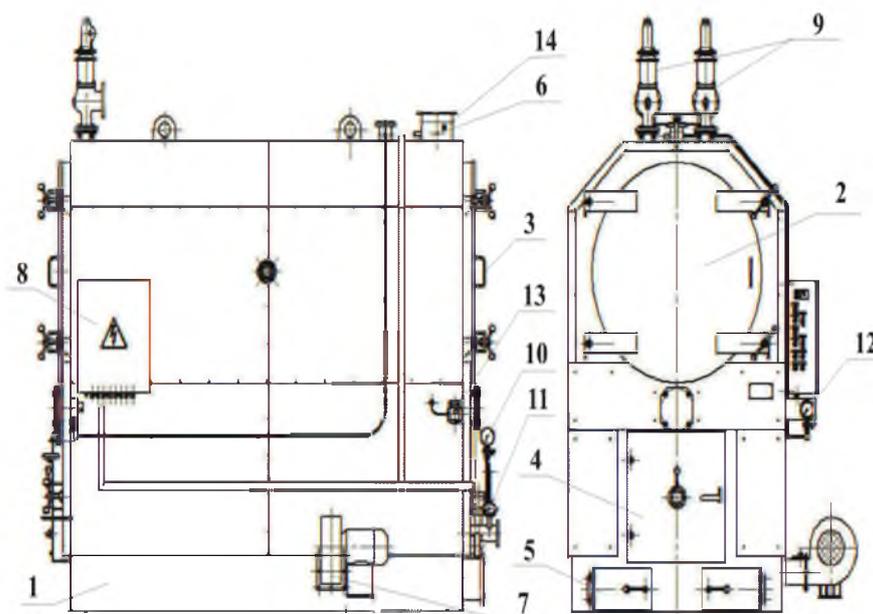
Рисунок 2.1 – Схема технологическая мазутопроводов котельной Тюменский

Основное технологическое оборудование включает в себя три паровых котла типа «ПКМ – 6,5/13» (стальные №№ 1, 2, 3) и один котёл «ПКМ – 12/13» (стальной № 4) болгарского производства, переведённые в водогрейный режим работы. Источником тепловой энергии для данных агрегатов служит жидкое топливо – мазут. В период с ноября по апрель котлы эксплуатируются попеременно, при этом одновременно работают не более двух единиц. В тёплое время года оборудование находится в резерве.

Все продукты сгорания мазута, включая такие специфические вещества, как бенз(а)пирен, оксиды углерода, серы и азота, а также сажа и мазутная зола, отводятся через единую дымовую трубу (источник выброса ИЗА 0001), смонтированную снаружи здания котельной. Важно отметить, что газоотводящий ствол данной трубы не имеет теплоизоляции. Подача воздуха, необходимого для процесса горения, обеспечивается индивидуальными вентиляторами, входящими в состав конструкции каждой горелки.

Конструктивно котлы представляют собой трёхходовые газотрубные агрегаты полностью сварного исполнения (рисунок 2.2). Каждый котёл

оснащён современной ротационной горелкой, например, моделью «RAY» BGE-500, специально предназначенной для работы на мазуте. Технологический комплекс котельной также включает вспомогательное оборудование для водоподготовки, системы контроля и автоматизации (КИПиА), электросиловые установки, а также необходимые бытовые и служебные помещения, включая химическую лабораторию.



1. корпус котла; 2. крышка передняя; 3. Крышка задняя; 4. люк загрузочный; 5. дверца чистки; 6. патрубок выхода дымовых газов; 7. система регулирования подачи воздуха; 8. шкаф управления; 9. клапан предохранительный; 10. манометр показывающий; 11. термометр; 12. манометр электроконтактный; 13. датчик разрежения; 14. Термопреобразователь

Рисунок 2.2 – Схема водогрейного котла КВр-0,5

Котел оборудован ротационной горелкой «RAY» BGE-500, работающей на мазуте, техническая характеристика представлена в таблице 2.1[7, с. 51].

Водоподготовка на объекте осуществляется с помощью установки производительностью 25 т/ч, функционирующей по схеме двухступенчатого натрий-катионирования на базе четырёх фильтров. Основным энергоносителем является мазут марки М100. Система отопления использует в качестве теплоносителя воду с расчётными параметрами 95/70 °С и работает в автоматическом режиме при постоянном присутствии оперативного персонала.

Воздухообмен в котельном зале организован через жалюзийные решётки. Вентиляция запроектирована как естественная и предназначена для

ассимиляции теплоизбытков и обеспечения трёхкратного воздухообмена в час; вытяжка осуществляется с помощью дефлекторов. Сливные и дренажные воды от основного и вспомогательного оборудования отводятся в дренажную систему.

Таблица 2.1—Технологические показатели водогрейных котлов

№ п/п	Наименование показателей	Значение величин
Котлы		
1	Тип	ПКМ-6,5/13
2	Количество	2
3	Номинальная паро/теплопроизводительность, т/час/Гкал/час	6,5/4,0
4	Завод-изготовитель	Болгария, г.Кирков. Котлостроительный завод Георги Киркова
5	Рабочее давление, МПа	0,6
6	Максимальная температура воды на выходе из котла, °С Минимальная температура воды на входе в котел, °С	115 60
7	Объем водяной, м ³	16,38
8	Поверхность нагрева, м ²	174
9	Температура продуктов горения за котлом при номинальной теплопроизводительности, °С, (газ)	196
10	Расчетный КПД (брутто) котлоагрегата при номинальной нагрузке, % (на газе)	92
11	Расход воды, м ³ /ч	160
Горелки		
12	Тип	«RAY» BGE-500
13	Количество	1
14	Теплопроизводительность, мин/макс, кВт, Гкал/ч	930/0,8 5814/5,0
15	Эл. Мощность двигателя, кВт	3,0
16	Частота вращения приводного вала горелки, об/мин	5700
17	Частота вращения приводного вала горелки, об/мин	2880
18	Максимальный расход жидкого топлива, кг/час	500
Дымовая труба		
19	Диаметр	1800 мм
20	Высота	60 м
21	Материал	сталь

Топливная инфраструктура включает две наземные вертикальные ёмкости для мазута объёмом по 400 м³ каждая. Доставка разогретого до 60°С мазута производится автоцистернами. Испарения от этих резервуаров (предельные углеводороды, ксилол, сероводород) классифицируются как неорганизованный источник выброса (ИЗА 6003).

Помимо основного процесса, источником эмиссий являются вспомогательные системы. Для аварийного электроснабжения используется

дизель-генераторная установка (ДГУ) мощностью 200 кВт, выбросы от которой считаются аварийными. Для её топливного обеспечения предусмотрена отдельная наземная ёмкость объёмом 25 м³, испарения от которой также формируют неорганизованный выброс (ИЗА 6004). Дополнительная ДГУ мощностью 150 кВт, смонтированная в блок-контейнере, предназначена для кратковременного резервирования и используется исключительно в аварийных ситуациях. Её топливохранилищем служит ёмкость на 800 литров [13, с.301]. Процессы заправки всех дизельных установок сопровождаются неорганизованными выбросами паров топлива.

Технологический цикл также предусматривает очистку ливневых и производственных стоков. Для этого используются блочные очистные сооружения «СК1-02.В» сорбционного типа производительностью 2 л/с, предназначенные для удаления нефтепродуктов до уровня 0,05 мг/л. Установка размещается подземно и не является источником выбросов в атмосферу.

Таким образом, номенклатура источников выбросов котельной сложна и включает как организованные, так и многочисленные неорганизованные. К основным организованным источникам относятся дымовая труба от водогрейных котлов серии ТТ-100 и выхлопные трубы ДГУ. К неорганизованным относятся испарения от резервуаров с мазутом и дизельным топливом, выбросы от автотранспорта на территории, а также эмиссии от сопутствующей деятельности: проведения сварочных (электроды АНО-21) и газорезательных (пропан-бутан) работ, функционирования ремонтного участка (заточный и сверлильный станки), покрасочных операций с использованием эмалей и растворителей. Техническое обслуживание дизельных установок, сопровождающееся их периодическим запуском вхолостую, также вносит вклад в общую эмиссионную нагрузку, расчёт которой для данного режима проводится на основе часового расхода топлива [10].

На территории котельной имеется пост электросварки (электроды АНО-20) (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Пост электросварки

Для выработки электроэнергии в момент ее централизованного отключения используется дизельгенератор СДА-200 мощностью 200кВт. Выброс загрязняющих веществ является аварийным. Выброс при техобслуживании (ИЗА 0004) [6, с.176].

Выброс загрязняющих веществ (оксиды железа и марганца) носит неорганизованный характер (ИЗА 6006). Так же имеется пост газовой резки (пропан-бутан). Выброс загрязняющих веществ (оксиды железа и марганца, оксиды углерода и азота) носит неорганизованный характер (ИЗА 6007).

На территории котельной имеется мастерская, оснащенная заточным и сверлильным станками. Выброс пыли абразивной и оксидов железа осуществляется через оконный проем и носит неорганизованный характер (ИЗА 6005).

При ремонте котельной проводятся окрасочные работы, которые производятся кистью, эмалью ПФ-115 с применением Уайт-спирит.

Выброс загрязняющих веществ (Уайт-спирит, ксилол) носит неорганизованный характер (ИЗА 6008).

Новая котельная № 2, работающая на природном газе, построена взамен старой мазутной. Она обеспечит теплоснабжение 2 000 потребителей и 7 социальных объектов, в том числе средней школы. Подача тепла

осуществляется в режиме пуска наладочных работ.

«Газпром теплоэнерго» начало подачу тепла с новой газовой блочно-модульной котельной мощностью 4,5 МВт в пгт. Новомихайловский.

Котельная оснащена современным высокоэффективным оборудованием и системой безопасности. Строительство транспортируемой блочно-модульной котельной, готовой к эксплуатации, в селе Агой Небугского сельского поселения Туапсинского района» подготовлена с учетом всех необходимых требований и нормативов.

В процессе разработки документации были учтены следующие требования (рисунок 2.4).

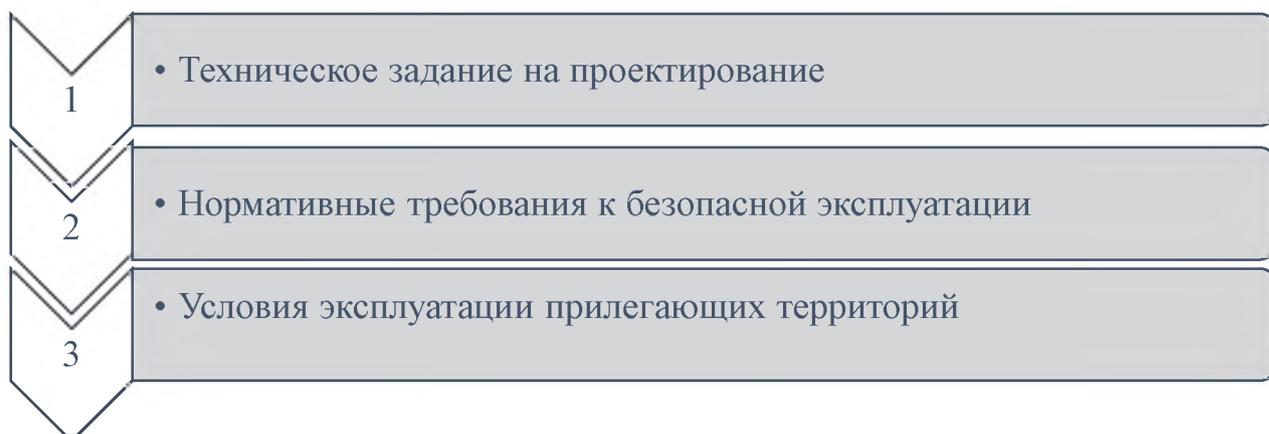


Рисунок 2.4 – Основные требования при разработке

Объект полностью соответствует: действующим нормативам проектирования, экологическим стандартам РФ и санитарным правилам и нормам и соответственно уделено особое внимание обеспечению безопасности жизни и здоровья людей при эксплуатации котельной.

В контексте настоящего исследования ключевым объектом, наряду с ранее рассмотренной мазутной котельной, выступает модульная котельная установка, функционирующая на природном газе. Данный объект представляет собой транспортируемый энергетический модуль, спроектированный и изготовленный как полностью готовый к эксплуатации комплекс. Его разработка и внедрение осуществлялись в рамках региональной программы развития на основании полного пакета разрешительной и проектной

документации, включая проектное задание, технические условия на подключение к инженерным сетям, санитарно-эпидемиологическое заключение, сертификат соответствия и разрешение на применение модели ТКУМ 8400-4-2-XX «Энерго».

Основное назначение установки — обеспечение тепловой энергией и горячим водоснабжением объектов, при этом её ключевой особенностью является возможность полностью автоматизированной работы без постоянного присутствия обслуживающего персонала. С точки зрения пожарной безопасности объект относится к классу С0.

Технологическую основу котельной составляют два водогрейных котла Buderus Logano SB25L 4200, укомплектованные комбинированными горелками Viessmann MatriX. Энергоносителем является природный газ, а теплоносителем — вода в системе централизованного отопления с рабочими параметрами 95/70 °С. Система управления позволяет осуществлять климатическое регулирование и дистанционный контроль посредством GSM-модема или радиоканала.

Важнейшие эксплуатационно-технические характеристики установки включают:

- тепловую мощность, обеспечивающую КПД на уровне 92%;
- максимальный часовой расход газа — 491.6 м³/ч;
- температуру отходящих газов — 185 °С;
- номинальное электропотребление — 73.52 кВт при напряжении 380 В;
- суточное водопотребление — до 10 м³.

Конструктивно котельная выполнена в формате транспортабельного бокс-модуля габаритами 9780×9100×2900 мм и массой 37.6 тонн, что позволяет осуществлять её перевозку стандартным автотранспортом и монтаж с помощью кранового оборудования. Каркас модуля, выполненный из сэндвич-панелей контейнерного типа на усиленном металлическом основании, обеспечивает требуемую огнестойкость. Система климат-контроля внутри модуля включает приточно-вытяжную вентиляцию с трёхкратным воздухообменом и эффективную теплоизоляцию, поддерживающую внутреннюю температуру не

ниже +12 °С. Безопасность эксплуатации обеспечивается комплексом запорной арматуры и защищённой входной группой (рисунок 2.5).

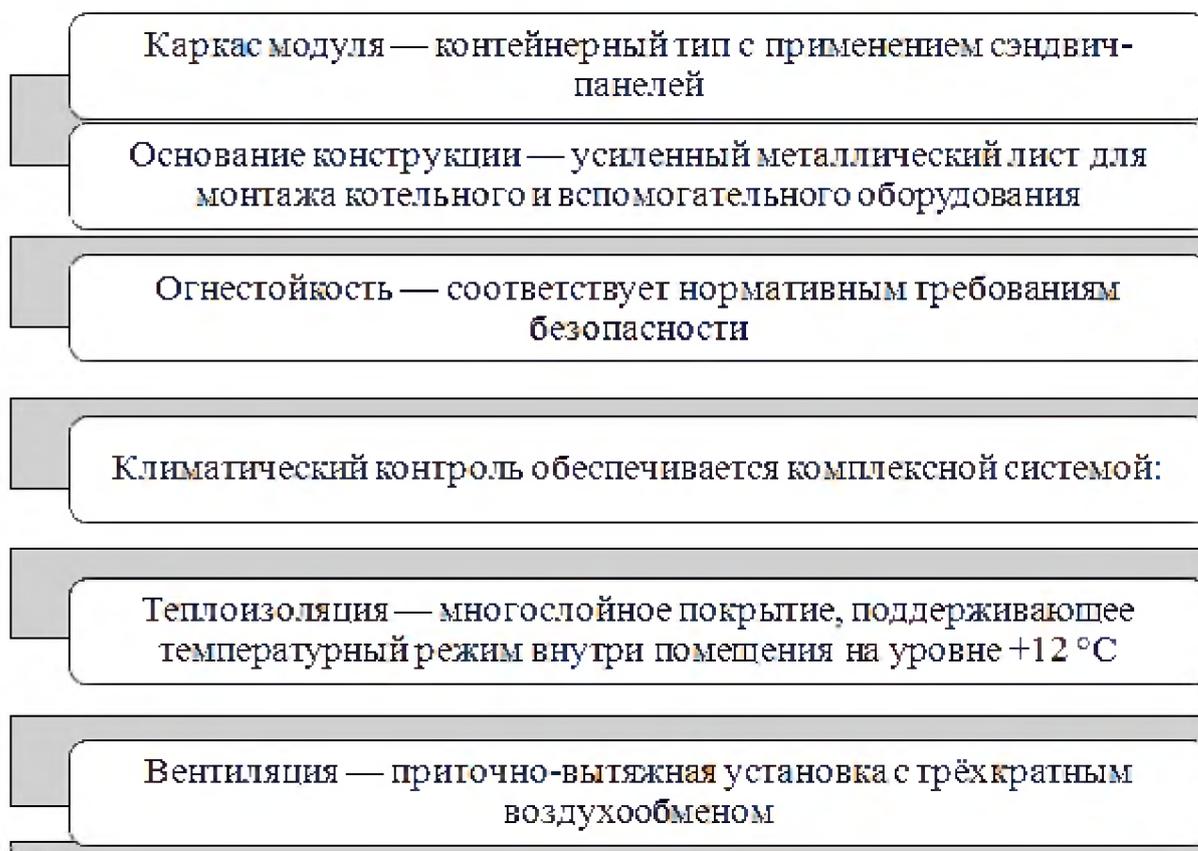


Рисунок 2.5 – Конструктивные элементы

Таким образом, газовая модульная котельная представляет собой современный технологический комплекс, характеризующийся высокой степенью автоматизации, мобильностью и формализованным соответствием всем действующим нормативным требованиям. Её технические параметры задают исходные данные для последующего сравнительного расчёта эмиссий, где принципиально иной вид топлива предполагает существенное отличие в структуре и объёме выбросов по сравнению с мазутным аналогом.

Конструктивные и инженерные решения котельной установки обеспечивают её полное соответствие действующим нормативам пожарной, электрической и эксплуатационной безопасности. Здание объекта относится ко II степени огнестойкости. Электробезопасность достигается за счёт применения специализированного оборудования и смонтированного контура заземления из

стальных уголков, соединённых полосой и заглублённых в грунт, сопротивление которого подлежит обязательному контрольному замеру после монтажа. Особенностью является отсутствие необходимости в устройстве отдельной молниезащиты, так как в котельной не выделено взрыво- и пожароопасных зон. Продувочный газопровод, выступающий над уровнем дефлектора на 1 метр, оборудован заземлением для отвода статического электричества.

Технологическое оснащение смонтировано в соответствии с требованиями СНиП II-35-76 «Котельные установки» и включает в себя комплекс ключевых систем. Основу составляют водогрейные котлы, трубопроводная обвязка с насосами, запорной арматурой и фильтрами, а также узел учёта газа и система автоматизированного управления. Важнейшим компонентом является газовое оборудование, которое содержит термозапорный и электромагнитный отсечной клапаны, регулирующую арматуру и расходомер, обеспечивающие безопасную подачу топлива.

Функционирование установки регулируется многоуровневой системой автоматики и контроля. Центральным элементом является система контроля загазованности — модульный комплекс, непрерывно анализирующий содержание угарного и природного газа в воздухе и активирующий светозвуковую сигнализацию при превышении пороговых значений. Автоматика безопасности управляет циклом пуска и останова котлов, поддерживает заданную температуру теплоносителя и регулирует тепловую мощность. Она также обеспечивает аварийное отключение при ряде нарушений: погасании пламени, отклонении давления газа или воздуха на горелках, изменении давления в топке или водяном контуре, а также при сбоях в электроснабжении. Дополнительный мониторинг охватывает параметры температуры дымовых газов и давления в ключевых точках системы.

Горелочные устройства поставляются в виде готовых комплектов, включающих пульт управления, блок клапанов, вентиляторное оборудование и собственную систему сигнализации. В состав всего проектируемого

энергоцентра входят непосредственно блочная котельная с дымовыми трубами, резервная дизельная электростанция, административно-бытовой модуль и сопутствующие инженерные коммуникации. Интеграция перечисленных систем направлена на создание высокоэффективного и безопасного технологического комплекса.

Проведённый анализ позволяет констатировать, что котельные установки, представляющие собой стационарные источники загрязнения атмосферы на территории Небугского сельского поселения, обладают кардинально различными технико-эксплуатационными характеристиками, обусловленными в первую очередь видом применяемого топлива.

Существующая мазутная котельная представляет собой традиционный объект с устаревшим парковым оборудованием, переведённым в водогрейный режим. Её работа характеризуется сезонностью, наличием многочисленных неорганизованных источников выбросов (резервуары хранения топлива, вспомогательные производства) и необходимостью постоянного присутствия персонала. Технологические решения в области очистки отходящих газов и автоматизации являются минимальными.

В отличие от неё, новая модульная газовая котельная является образцом современного подхода к малой энергетике. Это высокоавтоматизированный, транспортабельный комплекс, рассчитанный на круглогодичную работу без постоянного обслуживающего персонала. Конструкция и система управления включают в себя многоуровневые средства безопасности и контроля параметров, что минимизирует риски аварийных ситуаций и неорганизованных выбросов.

Таким образом, фундаментальное различие между объектами заключается не только в виде топлива, но и в уровне технологического развития, который напрямую влияет на интенсивность и состав эмиссии. Сравнительный анализ выбросов, проводимый в следующем разделе, должен количественно подтвердить экологический эффект от перехода с жидкого топлива (мазута) на газообразное (природный газ) в совокупности с

применением современных технических решений.

2.2 Сравнительный анализ эмиссионного профиля (состава и объема выбросов) при работе на мазуте и природном газе

Качественный и количественный состав выбросов котельной является интегральным показателем её технологического уровня и экологической опасности. Данный состав напрямую детерминирован применяемым видом топлива, конструкцией горелочных устройств, режимом горения и эффективностью эксплуатационного контроля. Для проведения сравнительной оценки воздействия на атмосферный воздух принципиально важно идентифицировать не только валовые объёмы эмиссии, но и спектр специфических загрязняющих веществ, их токсикологические характеристики и классы опасности.

Настоящий раздел посвящён анализу номенклатуры и структуры выбросов, характерных для сжигания мазута и природного газа в котельных установках. Особое внимание уделяется механизмам образования ключевых загрязнителей: оксидов серы (SO_x), азота (NO_x), углерода (CO), а также твёрдых частиц и специфических соединений, таких как бенз(а)пирен.

Сжигание жидкого и твердого топлива в котельных установках сопровождается образованием и выбросом в атмосферу широкого спектра загрязняющих веществ. В состав продуктов сгорания, наряду с основными компонентами (диоксидом углерода и водой), входят как газообразные, так и твердые примеси. К приоритетным газообразным загрязнителям относятся оксиды азота (NO и NO_2), оксид углерода (CO), диоксид серы (SO_2) и полициклические ароматические углеводороды, среди которых наиболее токсичен бенз(а)пирен. Твердая фаза представлена сажей и золовыми частицами [24, с. 35].

Для наиболее конкретного установления загрязнения атмосферы нам необходимо знать токсикологические характеристики веществ, все необходимые

значения представлены в таблице 2.2 [4, с. 146].

Таблица 2.2 – Значение ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе

Наименование веществ и его химическая формула	Класс опасности	ПДК в атмосферном воздухе	
		Максимальная разовая, мг/м ³	Среднесуточная, мг/м ³
Диоксид азота	2	0,085	0,04
Оксид углерода	4	5,0	1,0
Зола твёрдого топлива	3	0,5	0,15
Серный ангидрид	2	0,30	0,10
Сернистый ангидрид	3	0,50	0,05
Бензопирен	1	-	0,000001

Однако для комплексной оценки экологической опасности выбросов недостаточно оперировать только их массовыми показателями. Более значимым критерием является токсикологическая характеристика веществ и степень их воздействия на окружающую среду и здоровье человека. Именно поэтому нормативное регулирование, помимо контроля массы выбросов через предельно допустимые выбросы (ПДВ), опирается на гигиенические нормативы – предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в атмосферном воздухе.

Для предприятий, чьи выбросы приводят к многократному превышению ПДК, актуальной задачей становится разработка и реализация планов по достижению установленных нормативов ПДВ.

В таблице 2.3 сведены данные выбросов: при сжигании угля, газов и жидкого топлива в котлах [28, с. 235].

Таблица 2.3 – Удельные выбросы вредных продуктов сгорания при сжигании органических топлив в котлах

Выбросы вредных веществ	Природный газ, г/м ³	Мазут, кг/т	Уголь, кг/т
Оксиды серы SO _x	0,006-0,01	~ 21 S ^p	(17-19) S ^p
Оксиды азота NO _x	5-11	5-14	4-14
Монооксид углерода CO	0,002-0,005	0,005-0,05	0,1-0,45
Углеводороды	0,016	0,1	0,45-1,0
Диоксид углерода CO ₂	2000	~3000	2200-3000
Летучая зола и шлак	-	10A ^p	10A ^p

Образование загрязняющих веществ напрямую связано с химическим

составом топлива. Особую проблему представляют сера и азот, содержащиеся в органическом топливе. В процессе горения сера окисляется, образуя оксиды серы (SO_x), основную массу которых (97–99%) составляет диоксид серы (SO_2), а меньшую часть (1–3%) – триоксидсеры (SO_3). Фактическая концентрация SO_2 в уходящих дымовых газах может варьироваться от 0.08 до 0.6 % об., в то время как концентрация SO_3 обычно не превышает 0.0001 % об. [1, с. 52]. Ключевым фактором, определяющим суммарный выброс SO_x , является содержание серы в исходном топливе. Следует отметить, что часть серы может связываться с минеральной составляющей топлива (золой) и оставаться в шлаке, поэтому реальная концентрация оксидов серы в газах по ходу газового тракта может изменяться.

Оксиды азота (NO_x) образуются преимущественно за счет окисления атмосферного азота при высоких температурах в топке, а также за счет азота, содержащегося в топливе. Наряду с оксидами серы они являются одними из основных виновников образования кислотных осадков, фотохимического смога и оказывают негативное воздействие на дыхательную систему человека.

Таким образом, состав и количество выбросов от котельной являются функцией от вида и качества сжигаемого топлива, технологии сжигания и конструкции котлоагрегата. Сравнительный анализ эмиссионных профилей, представленный в следующем подразделе, позволит количественно оценить различия в воздействии на атмосферный воздух при использовании мазута и природного газа.

Образование оксидов азота (NO_x) в процессе горения топлива представляет собой значительную экологическую проблему, поскольку эти соединения обладают выраженной токсичностью. Оксид азота (NO), бесцветный газ, является опасным ядом, поражающим нервную систему и кровь. Его диоксид (NO_2), имеющий характерный коричнево-красный цвет, оказывает сильно раздражающее действие на органы дыхания и способен вызывать отёк лёгких [11].

В котельных установках образование NO_x происходит по трем основным

механизмам. Первый связан с высокотемпературным окислением атмосферного азота из воздуха, подаваемого на горение, что приводит к образованию термических оксидов азота. Второй механизм – «быстрый», протекающий в пламени. Третий и наиболее значимый при сжигании органического топлива – образование топливных NO_x в результате окисления азота, изначально содержащегося в химической структуре самого топлива. Доля «быстрых» NO_x в общих выбросах обычно не превышает 10-15%, однако в малых котлах с низким уровнем эмиссии она может возрасти до 30-50%.

При сжигании угля или мазута органические и неорганические азотсодержащие соединения топлива быстро переходят в газовую фазу в начальной зоне факела. Скорость образования топливных NO_x в этом случае сопоставима со скоростью нагрева топлива. В типичных условиях эксплуатации котлов концентрация оксида азота (NO) в уходящих газах пренебрежимо мала по сравнению с диоксидом (NO₂) и обычно находится в диапазоне от 14 до 60 мг/м³.

В этом случае скорость формирования NO_x сопоставима со скоростью нагревания. В соответствии с предложенной схемой и разработан механизм формирования топливных NO_x (рисунок 2.6).

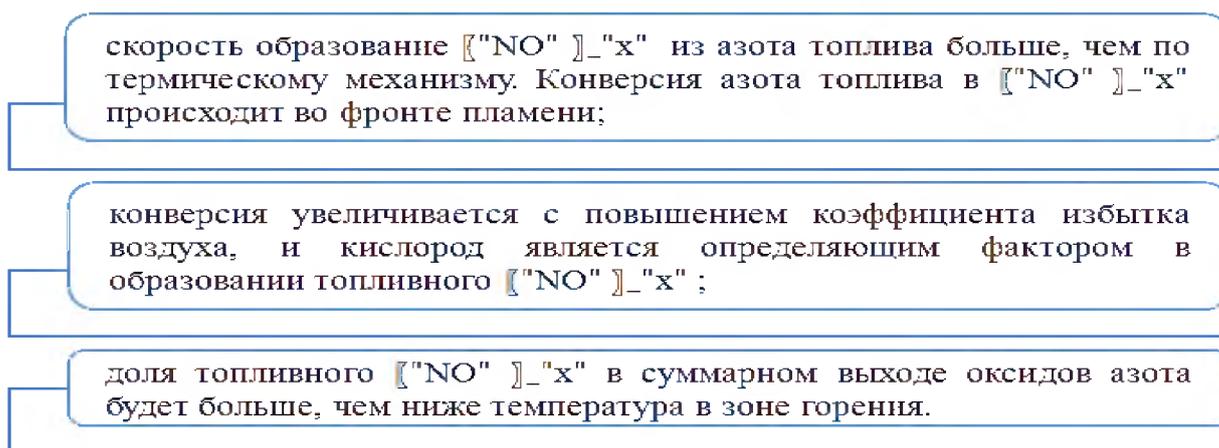


Рисунок 2.6 – Механизм образования топливных NO_x

Параллельно с газообразными загрязнителями образуется твёрдая фаза – летучая зола. Её количество и свойства напрямую зависят от зольности топлива, которая для российских углей может варьироваться от 10 до 50%,

обуславливая запылённость дымовых газов в пределах 60-70 г/м³. Химический состав золы чрезвычайно разнообразен и включает оксиды кремния (SiO₂), алюминия, железа, кальция, магния, калия, натрия и титана, которые могут находиться в виде свободных оксидов, силикатов или сульфатов [8, с. 140].

Физико-химические свойства золы, такие как дисперсный состав, плотность, электрическое сопротивление, абразивность и склонность к слипанию, являются критическими факторами, определяющими эффективность работы газоочистного оборудования. Например, высокое содержание оксида кальция (CaO) делает невозможным применение мокрых скрубберов из-за явления цементации уловленного материала.

Масштаб воздействия на окружающую среду выбросов золы весьма значителен. Для иллюстрации, электростанция мощностью 2400 МВт при сжигании угля со средней зольностью 17-20% может выбрасывать через дымовую трубу до 2.5 тонн летучей золы в час. Таким образом, количественная и качественная оценка выбросов от котельной должна носить комплексный характер, учитывая как газообразные токсиканты (SO_x, NO_x, CO, бенз(а)пирен), так и твёрдые частицы, поскольку их совместное воздействие формирует совокупную экологическую нагрузку на атмосферный воздух.

Из основных загрязняющих веществ в выбросах котельной присутствует большинство ее компонентов (таблица 2.4).

Даже для относительно небольшого по масштабу предприятия, такого как котельная, обеспечивающая теплоснабжение локального объекта, совокупный объём эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу является значительным. Годовой валовый выброс составляет 62,20 тонн, из которых 59,92 тонн приходится на газообразные и жидкие вещества (в виде аэрозолей), а 2,285 тонн – на твёрдые частицы. При этом приведённые данные не включают не нормируемые аварийные выбросы от резервной дизельной установки, что указывает на некоторую заниженность общей картины воздействия.

Качественный и количественный анализ структуры выбросов выявляет несколько приоритетных загрязнителей. Наибольшую массовую долю (свыше

32 тонн в год) составляет сернистый ангидрид (SO₂), относящийся к III классу опасности. Его экологическая угроза значительно возрастает за счёт вторичных процессов трансформации в атмосфере, где он, соединяясь с парами воды, образует серную кислоту, являющуюся основной причиной выпадения кислотных осадков.

Таблица 2.4 – Показатели выбросов загрязняющих веществ в зоне активного горения топлива

Код	Вещество Наименование	Использ. Критерий	Значение критерия, мг/м ³	Класс опасности	Суммарный выброс вещества, т/год
1	2	3	4	5	6
0123	диЖелезотриоксид (Железа оксид) /в пересчете на железо/	0,8 ПДКс.с	0,32	3	0,0032638
0143	Марганец и его соединения /в пересчете на марганца (IV) оксид/	0,8 ПДКм.р.	0,008	2	0,0000091
0301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	0,8 ПДКм.р.	0,16	3	5,7773153
0303	Аммиак	0,8 ПДКм.р.	0,16	4	0,3902928
0304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,8 ПДКм.р.	0,32	3	2,0843791
0328	Углерод (Сажа)	0,8 ПДКм.р.	0,12	3	2,1050424
0330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	0,8 ПДКм.р.	0,4	3	32,6750986
0333	Сероводород	0,8 ПДКм.р.	0,0064	2	0,2985138
0337	Углерод оксид	0,8 ПДКм.р.	4	4	8,9527439
0410	Метан	0,8 ОБУВ	40		9,619504
0616	Диметилбензол (Ксилол) (смесь о-, м-, п- изомеров)	0,8 ПДКм.р.	0,16	3	0,0001304
0703	Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)	0,8 ПДКс.с	0,000008	1	0,0000066
1071	Гидроксibenзол (Фенол)	0,8 ПДКм.р.	0,008	2	0,040611
1325	Формальдегид	0,8 ПДКм.р.	0,04	2	0,058385
1728	Этантiol (Этилмеркаптан)	0,8 ПДКм.р.	0,00004	3	0,002573
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) /в пересчете на углерод/	0,8 ПДКм.р.	4	4	0,0023246
2732	Керосин	0,8 ОБУВ	0,96		0,0051
2752	Уайт-спирит	0,8 ОБУВ	0,8		0,0001465
2754	Углеводороды предельные C12-C19 (Алканы C12-C19растворитель РПК-265П и др.) /в пересчете на	0,8 ПДКм.р.	0,8	4	0,008886

Существенный вклад в общую эмиссионную нагрузку вносит диоксид азота (NO_2) – 5,777 т/год.

Это вещество II класса опасности оказывает выраженное негативное воздействие на дыхательную систему живых организмов и участвует в фотохимических реакциях с образованием приземного озона. Также в значительном количестве (8,95 т/год) выбрасывается оксид углерода (CO , «угарный газ»), который, обладая высокой токсичностью и способностью к кумулятивному действию, представляет серьёзную опасность для здоровья населения даже при невысоких концентрациях.

Согласно проведённым расчётам рассеивания, при полной загрузке технологического оборудования котельной превышений предельно допустимых концентраций (ПДК) с учётом фоновое загрязнение не наблюдается ни на границе нормативной санитарно-защитной зоны (СЗЗ), ни в жилой застройке. Однако важно отметить выраженный сезонный характер работы и, соответственно, выбросов данной котельной, что приводит к периодической, а не постоянной, экологической нагрузке на атмосферный воздух в районе её расположения.

Однако просматривается сезонный характер выбросов ЗВ при работе котельной (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Результаты исследований выброса диоксида азота за три года

Показатель	год	Труба котельной		Селитебная зона		ПДВ
		Зима	Лето	Зима	Лето	
Азота диоксид mg/m^3	2019	176,5	124,7	141,36	98,62	183,166
	2020	175,9	125,3	142,94	99,12	
	2021	180,9	131,4	149,73	103,45	

Как видно из таблицы 2.5 и рисунка 2.7, .наибольший выброс диоксида азота приходится на 2021 год в районе трубы котельной, но не превышает предельно допустимые выбросы, установленные для предприятия. В селитебной зоне по сравнению с зоной около трубы котельной концентрация азота диоксида меньше.

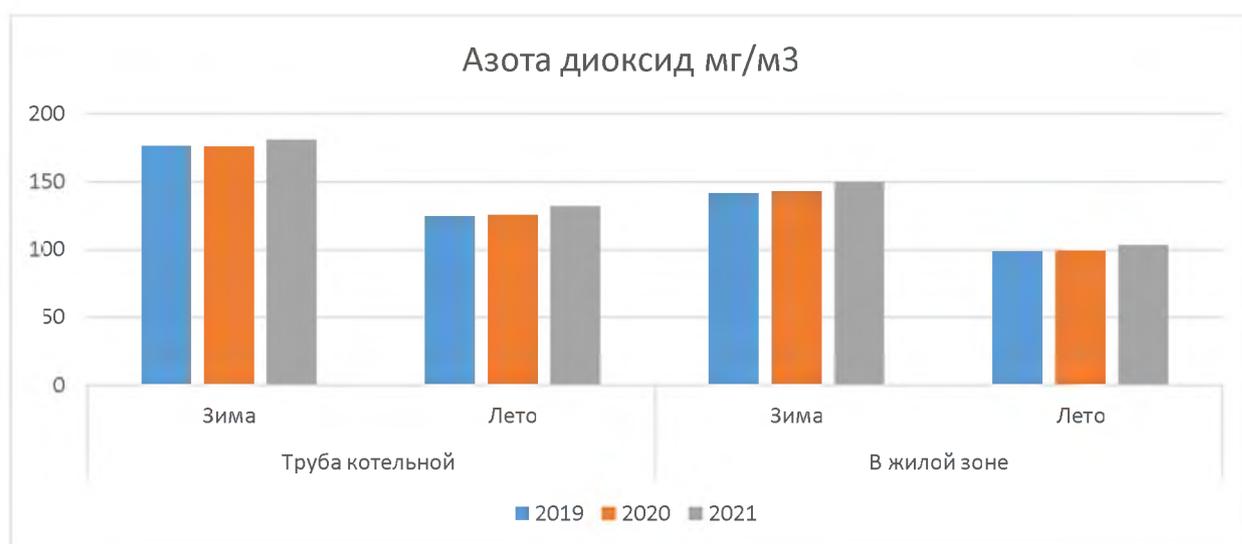


Рисунок 2.7 – Результаты исследований поступления диоксида азота за три года

Так же хотелось бы отметить, что максимальный выброс диоксида азота приходится на зимний период, так как котельная работает в полную мощность из-за отопительного сезона. Результаты исследований приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты исследований выброса серы диоксид за три года

Показатель	год	Труба котельной		Селитебная зона		ПДВ
		Зима	Лето	Зима	Лето	
Серы диоксид мг/м ³	2019	861,45	573,68	482,16	314,28	1278,83
	2020	593,64	246,78	276,61	168,24	
	2021	645,35	413,58	316,94	273,65	

Диоксид серы является распространенным продуктом горения при сжигании мазута, и в результате он вносит основной вклад в развитие городских и промышленных районов [27].

Выбросы SO₂, которые приводят к высоким концентрациям SO₂ в воздухе, обычно также приводят к образованию других оксидов серы (SO_x). Таким образом, диоксид серы может вступать в реакцию с другими соединениями в атмосфере с образованием мелких частиц. Эти частицы способствуют загрязнению твердыми частицами (ТЧ). Мелкие частицы могут проникать глубоко в легкие и в достаточном количестве могут способствовать проблемам со здоровьем. Максимальный выброс серы диоксид приходится на зиму 2019 года в районе трубы котельной, превышений предельно допустимых выбросов не зафиксировано. В селитебной зоне по сравнению с территорией

котельной выбросы серы диоксида ниже, наибольшие концентрации наблюдаются зимой и летом 2019 года (рисунок 2.8).

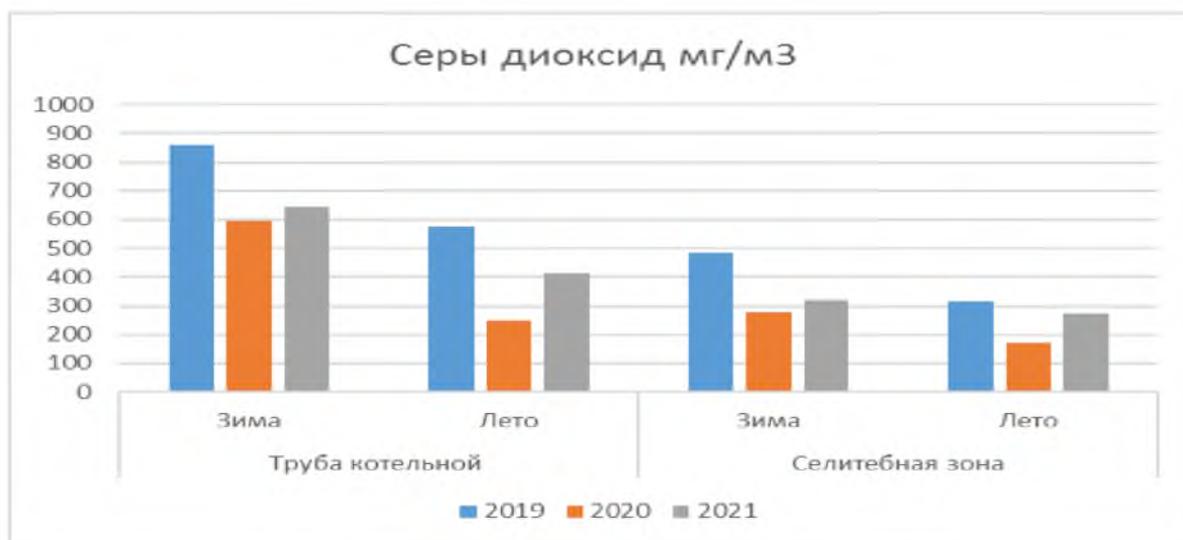


Рисунок 2.8 – Результаты выброса серы диоксид за три года

Монооксид углерода (CO) представляет собой бесцветный газ без запаха. Он выделяется несколькими источниками горения, включая автомобили, электростанции, лесные пожары и мусоросжигательные заводы, и вызывается неполным сгоранием углеродсодержащих видов топлива [14]. Результаты исследования приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты исследований выброса углерода оксид за три года

Показатель	год	Труба котельной		Селитебная зона		ПДВ
		Зима	Лето	Зима	Лето	
Углерода оксид мг/м ³	2019	164,94	83,49	74,31	46,19	349,68
	2020	167,61	87,62	76,16	51,37	
	2021	183,73	94,28	86,14	59,16	

Из представленных данных максимальный выброс углерода оксид наблюдается зимой и летом 2021 года на территории котельной превышений предельно допустимых выбросов не зафиксировано. В селитебной зоне превышений не наблюдалось концентрация оксида углерода находилась в пределах нормы.

В таблице 2.8 приведены данные перечня загрязняющих веществ с отнесением к классу опасности, по которому можно анализировать общий уровень опасности состояния атмосферы вблизи санаторно-курортного

комплекса, расположенного неподалеку от основного объекта.

Таблица 2.8 – Суммарный выброс загрязняющих веществ по классу опасности вблизи санаторно-курортного комплекса

Код ЗВ	Наименование загрязняющего вещества	ПДКм.р, мг/м ³	ПДКс.с., мг/м ³	ОБУВ, мг/м ³	Класс опасности	Выброс вещества, г/с	Суммарный выброс вещества, т/год
1	2	3	4	5	6	7	8
0123	диЖелезотриоксид (Железа оксид) /в пересчете на железо/		0,032		3	0,0056797	0,0032638
0143	Марганец и его соединения /в пересчете на марганца (IV) оксид/	0,008	0,0008		2	0,00007027	0,0000091
0301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	0,16	0,032		3	0,334305178	5,7773153
0303	Аммиак	0,16	0,032		4	0,0286374	0,3902928
0304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,32	0,048		3	0,081520159	2,0843791
0328	Углерод (Сажа)	0,12	0,04		3	0,127654019	2,1050424
0330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	0,4	0,04		3	1,927270111	32,6750986
0333	Сероводород	0,0064			2	0,00702156	0,2985138
0337	Углерод оксид	4	2,4		4	0,62568	8,9527439
0410	Метан			40		0,710635	9,619504
0616	Диметилбензол (Ксилол) (смесь о-, м-, п- изомеров)	0,16			3	0,00014184	0,0001304
0703	Бенз/а/пирен (3,4- Бензпирен)		0,0000008		1	6,458E-07	0,0000066
1071	Гидроксибензол (Фенол)	0,008	0,0048		2	0,003026	0,040611
1325	Формальдегид	0,04	0,008		2	0,005171333	0,058385
1728	Этантиол (Этилмеркаптан)	0,00004			3	0,0001948	0,002573
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) /в пересчете на углерод/	4	1,2		4	0,008405	0,0023246
2732	Керосин			0,96		0,02	0,0051
2752	Уайт-спирит			0,8		0,00012945	0,0001465
2754	Углеводороды предельные С12-С19 (Алканы С12-С19растворитель РПК-265П и др.) /в пересчете на суммарный органический углерод/	0,8			4	0,02062	0,008886

Одним из главных показателей комплекса загрязняющих веществ является вид сжигаемого топлива, в этой связи мы провели сравнительный анализ объёмов выбросов котельными установками, образующихся при использовании двух видов топлива: дизельного и мазута, с учетом установленного годового норматива потребления топлива.

Анализ данной таблицы, очень наглядно указывает на разницу выбросов вредных веществ от вида топлива используемого при работе котельных установок оказалось, что количество выбросов более чем в пять раз меньше.

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о принципиально разной структуре и экологической опасности выбросов, образующихся при работе котельных на мазуте и природном газе.

Сжигание мазута характеризуется сложным многофакторным эмиссионным профилем. Помимо газообразных загрязнителей, в значительных количествах образуются твёрдые частицы (сажа, мазутная зола). Ключевыми компонентами выбросов являются оксиды серы (SO_x), образование которых напрямую связано с высоким содержанием серы в топливе, а также оксиды азота (NO_x) и углерода (CO). Особую опасность представляет наличие в составе выбросов канцерогенных полициклических ароматических углеводородов, в частности бенз(а)пирена. Дополнительную неорганизованную нагрузку создают испарения из резервуаров хранения топлива [9].

Таблица 2.9 – Сравнительный анализ выбросов ЗВ в атмосферу, их очистка и утилизация

Код ЗВ	Загрязняющие вещества	Выбросы при работе на газе без очистки, тонн		Выбросы при работе на мазуте без очистки, тонн		Всего ЗВ при работе на газе за год, тонн	Всего ЗВ при работе на мазуте в среднем за три года, тонн	Разность выбросов ЗВ
		всего	в т.ч. от организованных источников	всего	в т.ч. от организованных источников			
1	Всего	5.106	5.103	27.531	27.371	5.106	27.531	22425
2	в том числе твердых	0.001	0.001	1.004	0.938	0.001	1.004	1003
4	в том числе газообразные и жидкие	5.105	5.102	26.527	26.433	5.105	26.527	21422

Продолжение таблицы 2.9

330	из них: диоксид серы	0.014	0.014	18.742	18.74	0.014	18.742	18741,0
337	оксид углерода	3.22	3.22	3.986	3.985	3.22	3.986	0,766
12	оксид азота (в пересчете на NO ₂)	1.868	1.868	3.722	3.708	1.868	3.722	1,854
401	углеводороды (без летучих органических соединений)	0	0	0	0	0	0	0
6	летучие органические соединения (ЛОС)	0.003	0	0.075	0	0.003	0.075	0,072
5	прочие газообразные и жидкие	0	0	0.002	0	0	0.002	0,002

В случае использования природного газа эмиссионный профиль существенно упрощается и становится менее опасным. Практически полностью исключаются выбросы твёрдых частиц и оксидов серы (SO_x), поскольку газовое топливо не содержит сернистых соединений. Резко снижается образование оксида углерода (CO) и полициклических ароматических углеводородов. Основным регулируемым загрязняющим веществом становятся оксиды азота (NO_x), уровень которых зависит в основном от технологии сжигания (температуры в зоне горения) [2].

Таким образом, с экологической точки зрения перевод котельной с мазута на природный газ приводит не только к количественному снижению общей массы выбросов, но и к кардинальному качественному улучшению их состава за счёт исключения наиболее токсичных и опасных компонентов.

Результаты проведённого в данной главе анализа позволяют составить комплексную сравнительную характеристику двух технологических вариантов теплообеспечения. Установлено, что существующая мазутная котельная, несмотря на относительно небольшую мощность, является значительным источником разнообразных загрязняющих веществ, включая высокотоксичные и канцерогенные соединения. Её эмиссионный профиль усугубляется наличием многочисленных неорганизованных источников выбросов и сезонным, но

интенсивным режимом работы в неблагоприятные для рассеивания метеорологические периоды.

Внедряемая модульная газовая котельная, представляющая собой современный автоматизированный комплекс, демонстрирует принципиально иной, более благоприятный экологический потенциал. Качественный состав её выбросов существенно безопаснее за счёт отсутствия серы, твёрдых частиц и специфических органических соединений в отходящих газах. Количественная оценка, подробно рассмотренная в следующем разделе, подтверждает значительное снижение массы и концентраций приоритетных загрязнителей.

Следовательно, сравнительный анализ однозначно указывает на существенное экологическое преимущество использования природного газа перед мазутом в условиях Небугского сельского поселения. Технологический переход не только минимизирует прямую нагрузку на атмосферный воздух курортной территории, но и снижает совокупные экологические риски, что служит веским основанием для разработки и реализации соответствующих природоохранных мероприятий, рассматриваемых в последующей главе работы.

3 Разработка мероприятий по снижению негативного воздействия на атмосферный воздух

3.1 Рекомендуемые природоохранные и технологические мероприятия

Результаты проведённого сравнительного анализа однозначно указывают на существенное экологическое преимущество газового топлива перед мазутом и выявляют ключевые источники негативного воздействия котельной на окружающую среду. Однако для достижения соответствия современным экологическим стандартам и минимизации остаточного воздействия даже при использовании более чистого топлива необходима целенаправленная природоохранная стратегия. Настоящий раздел посвящён разработке комплекса технологических, технических и организационных мероприятий, направленных на снижение нагрузки на все компоненты природной среды: атмосферный воздух, водные объекты и почвы. Предлагаемые решения основываются на принципах наилучших доступных технологий (НДТ) и направлены не только на сокращение выбросов и сбросов, но и на повышение уровня промышленной и экологической безопасности объекта.

Состав и количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с продуктами сгорания топлива в котельных установках, определяются комплексом факторов. Часть эмиссий, таких как диоксид серы (SO_2), соединения ванадия или летучая зола, напрямую зависит от элементного состава используемого топлива, в частности, его негорючей (минеральной) части. Другие вредные компоненты, включая оксиды азота (NO_x), углерода (CO) и канцерогенные вещества (например, бенз(а)пирен), образуются в результате сложных физико-химических процессов, на которые влияют не только характеристики топлива, но и технологические параметры: способ организации топочного процесса, конструкция горелочных устройств, нагрузка котла и коэффициент избытка воздуха [5, с. 124]. Таким образом, для минимизации этих выбросов необходим целенаправленный выбор как вида энергоносителя, так и режимов эксплуатации.

Сравнительная экологическая опасность различных видов топлива может быть ранжирована по шкале вредности воздействия на окружающую среду. Наименее вредным признаётся природный газ, основным регулируемым загрязнителем при его сжигании являются оксиды азота. В то же время мазут с содержанием серы 3.5% занимает одну из низших позиций в этом рейтинге, главным образом из-за значительных выбросов диоксида серы и оксидов азота.

К числу наиболее токсичных продуктов сгорания относятся диоксид серы (SO_2) и диоксид азота (NO_2). SO_2 , образующийся при окислении серы, содержащейся в топливе, представляет серьёзную опасность для здоровья человека, оказывает губительное воздействие на растительность даже при относительно низких концентрациях (порядка 0.5 мг/м^3), приводит к закислению почв и ускоренной коррозии строительных материалов. Особое место среди загрязнителей занимает бенз(а)пирен — сильнейший канцероген, вредное воздействие которого проявляется при минимальных концентрациях в воздухе. Его образование связано с процессами неполного сгорания топлива.

Образование оксидов азота (NO_x) происходит при окислении как атмосферного азота, так и азота, входящего в состав топлива. Интенсивность этого процесса определяется в первую очередь температурой в зоне горения, концентрацией кислорода и временем пребывания газов в высокотемпературной зоне. Снижение выбросов NO_x достигается путём подавления их образования непосредственно в топке. Эффективными мерами являются применение технологий двухступенчатого сжигания, использование горелок с рециркуляцией дымовых газов и поддержание температуры горения ниже 1500°C , что позволяет сократить эмиссию на 70-75%.

В целом, для уменьшения негативного воздействия котельных на атмосферный воздух применяется комплекс технических и режимных мероприятий. К ним относятся: переход на топливо с пониженным содержанием серы (например, малосернистый мазут), оптимизация процессов сжигания для минимизации образования NO_x и CO , а также использование высоких дымовых труб для рассеивания остаточных выбросов. Ключевым

критерием оценки качества атмосферного воздуха и эффективности природоохранных мер остаются предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ — гигиенические нормативы, устанавливающие уровни, не вызывающие патологических изменений в организме человека при длительном воздействии. Даже при нормальной эксплуатации котельной, работающей на относительно чистом природном газе, в атмосферу поступают такие продукты сгорания, как оксид углерода и оксиды азота, что подтверждает необходимость постоянного экологического контроля и совершенствования технологий.

Анализ экологического воздействия котельных установок не ограничивается атмосферными выбросами; значительную проблему представляют образующиеся сточные воды, состав которых напрямую зависит от типа используемого топлива и технологических процессов. Водный тракт котельной является источником сбросов различной степени опасности, требующих дифференцированного подхода к очистке и утилизации.

Образующиеся стоки можно классифицировать на несколько основных видов. К первым относятся регенерационные и промывочные воды установок водоподготовки и конденсатоочистки. Хотя используемые в них реагенты (кислоты, щелочи, соли) зачастую не обладают острой токсичностью, их сброс приводит к существенному повышению общего солесодержания (минерализации) водоёмов, изменяя их физико-химические свойства и угнетая водные экосистемы. Эти воды также несут уловленные органические вещества и взвеси, повышающие биохимическое потребление кислорода (БПК), что делает их прямой сброс в природные объекты недопустимым.

Отдельную и наиболее серьёзную опасность представляют стоки, загрязнённые нефтепродуктами, которые образуются в мазутном хозяйстве (при сливе, перекачке, хранении), а также при обслуживании оборудования. Нефтепродукты обладают исключительно низкими значениями ПДК для водных объектов. Образуя плёнку на поверхности воды, они нарушают процессы газообмена, снижая содержание растворённого кислорода, и оказывают токсическое воздействие на гидробионты, особенно на ранние

стадии развития рыб. Очистка таких стоков является обязательной и обычно включает этапы отстаивания (в нефтеловушках), флотации или коагуляции с последующей сорбционной доочисткой.

Особого внимания заслуживают воды систем гидрозолоудаления, а также стоки от обмывки поверхностей нагрева котлов. После осветления они могут содержать высокие концентрации солей кальция, магния, соединений железа, алюминия, а также токсичные микропримеси — соединения ванадия, мышьяка, фторидов и канцерогенных веществ, содержание которых часто многократно превышает ПДК. Например, вода после обмывки котлов, работающих на сернистом мазуте, может содержать до 4-5 г/л свободной серной кислоты, 0.3-0.8 г/л ванадия и 7-8 г/л железа. В современных проектах для таких высокоминерализованных и токсичных стоков предусматриваются, как правило, замкнутые системы оборотного водоснабжения с нейтрализацией и продувкой для контроля солесодержания.

На основе проведенного анализа рекомендуется провести следующие санитарно-профилактические мероприятия (рисунок 3.1).

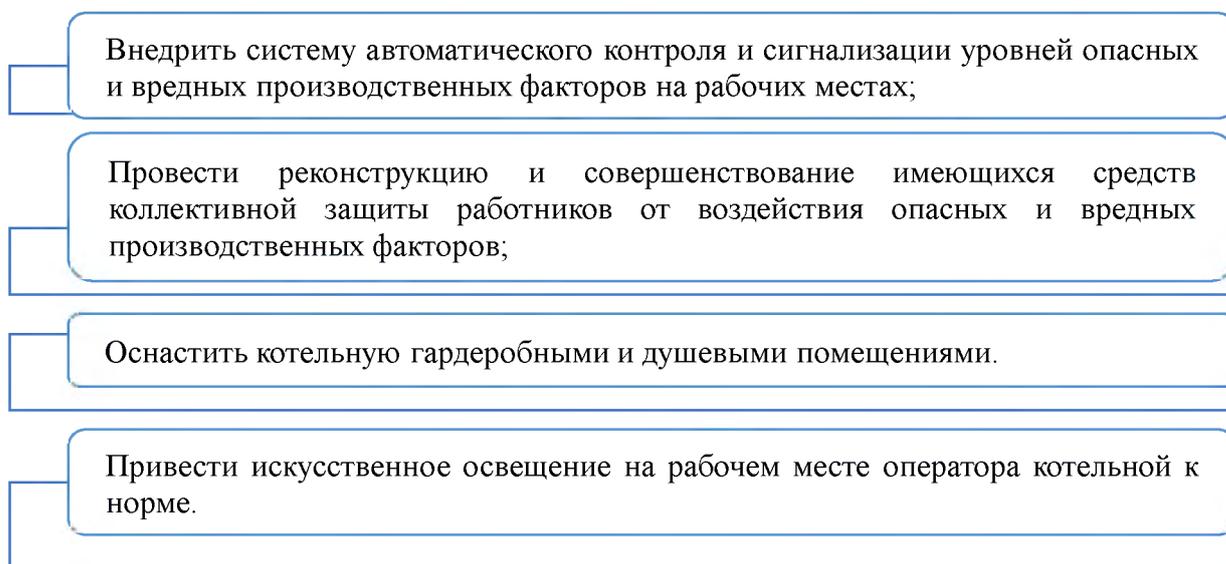


Рисунок 3.1 – Санитарно-профилактические мероприятия

Таким образом, водохозяйственная деятельность котельной, особенно работающей на мазуте, формирует комплексную нагрузку на водные ресурсы. Годовой объём технологических стоков только на заполнение и промывку

теплосетей может достигать десятков тысяч кубометров (например, 38.3 тыс. м³). Снижение этого воздействия требует не просто локальной очистки, а целостного подхода, включающего внедрение малоотходных технологий, повторное использование очищенных вод и строгое соответствие сбрасываемых вод нормативным требованиям.

В связи с этим актуальной задачей становится не только очистка, но и минимизация объёма образующихся сточных вод, в идеале — полное исключение отдельных их видов. Для этого могут применяться ресурсосберегающие технологии. Например, замазученные и замасленные воды целесообразно не сбрасывать, а подвергать выпариванию, либо после предварительной очистки использовать в технологическом цикле системы гидрозолоудаления. Ещё одним эффективным методом является направление части этих стоков в топку котла для термического уничтожения содержащихся в них нефтепродуктов, что позволяет одновременно решить проблемы утилизации и получения дополнительной энергии.

Переходя к вопросам обеспечения безопасной эксплуатации, необходимо рассмотреть устройство защитного заземления электрооборудования котельной. Согласно нормативным требованиям, для электроустановок напряжением до 1000 В допустимое сопротивление заземляющего устройства (R_z) не должно превышать 4 Ом. В проекте предусмотрено комбинированное использование естественных заземлителей (с предполагаемым сопротивлением $R_e = 8$ Ом) и искусственного контура. Искусственный контур формируется из вертикальных электродов — стальных стержней диаметром 20 мм и длиной 3 м, погружаемых в грунт по периметру здания с шагом примерно 3 метра, что обеспечивает необходимое растекание тока.

Не менее важным аспектом является обеспечение пожарной безопасности, под которой понимается состояние объекта, исключающее возможность возникновения пожара, а в случае его возникновения — минимизирующее воздействие опасных факторов на людей и материальные ценности. Помещение проектируемой котельной относится к I степени

огнестойкости. Его конструктивные элементы (стены из красного кирпича, железобетонные перекрытия) выполнены из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее 4 часов, что соответствует строгим противопожарным требованиям для подобных объектов.

Для контроля негативного воздействия на окружающую среду, наряду с технологическими решениями, необходима эффективная система мониторинга. Котельную следует оборудовать постоянно действующими приборами учёта объёмов забираемой воды и сбрасываемых стоков. В случаях, когда установка таких приборов невозможна или нецелесообразна, должны применяться прямые инструментальные замеры и расчётные методы для определения соответствующих параметров. Комплекс предложенных мероприятий, направленных на соблюдение нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ), схематично представлен на рисунке 3.2.

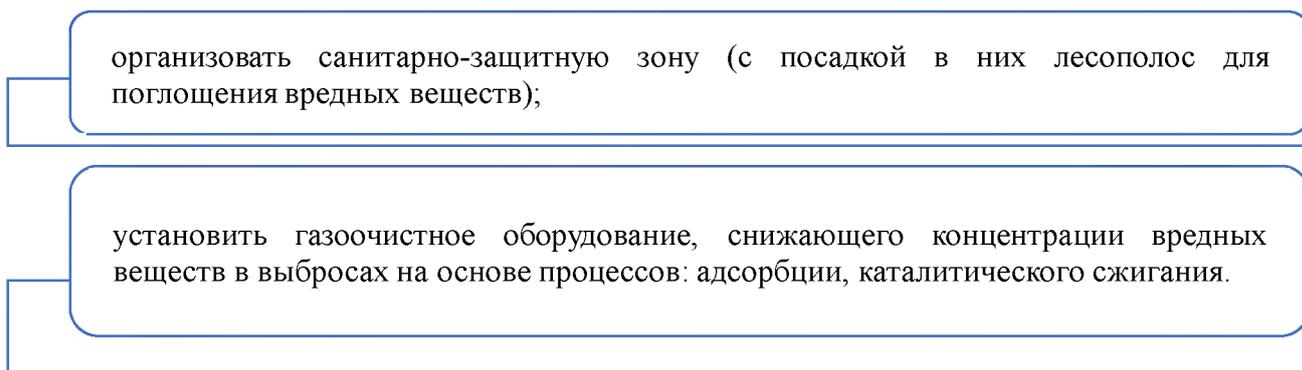


Рисунок 3.2 – Мероприятия по проведению предельно допустимых значений выбросов

На основе выявленных в ходе анализа проблемных аспектов был разработан комплекс взаимосвязанных мероприятий. Приоритетным направлением, дающим максимальный экологический эффект, является полный переход котельной с мазута на природный газ, что позволит кардинально снизить выбросы диоксида серы, твёрдых частиц и бенз(а)пирена.

Параллельно для минимизации остаточных выбросов (прежде всего оксидов азота) и оптимизации ресурсопотребления предложены технологические решения, такие как настройка режимов горения, внедрение

систем автоматического контроля и регулирования параметров дымовых газов. В области водного хозяйства рекомендовано внедрение замкнутой системы оборотного водоснабжения, установка локальных очистных сооружений для нефтесодержащих стоков и повторное использование очищенных вод в технологическом цикле, что обеспечит «нулевой» сброс наиболее опасных стоков.

Для обеспечения безопасной эксплуатации объекта разработаны меры по устройству защитного заземления электрооборудования и подтверждено соответствие конструктивных решений здания котельной требованиям пожарной безопасности I степени огнестойкости. Таким образом, предлагаемый комплекс мероприятий носит системный характер, охватывая все значимые аспекты воздействия на окружающую среду и направлен на перевод объекта на современный, ресурсоэффективный и экологически безопасный уровень эксплуатации. Эффективность и обоснованность данных предложений подлежат детальной оценке в следующем подразделе работы.

3.2 Оценка эффективности и обоснование предложенных мероприятий

На основании проведённого анализа опасных производственных и экологических факторов, а также существующей нормативно-правовой базы был разработан комплекс мероприятий, направленных на минимизацию негативного воздействия котельной. Однако внедрение любых природоохранных и технологических решений требует не только их формулировки, но и объективной оценки ожидаемой эффективности, а также технико-экономического и экологического обоснования. Настоящий раздел посвящён такой оценке. В нём рассматриваются количественные и качественные показатели эффективности предложенных мер, обосновывается их выбор в сравнении с альтернативными вариантами, а также анализируются возможные ограничения и синергетические эффекты от их реализации. Целью является демонстрация того, что рекомендуемые действия являются не только

целесообразными с экологической точки зрения, но и технически реализуемыми, экономически оправданными и ведущими к достижению установленных нормативов безопасности.

Необходимость дальнейшего совершенствования деятельности в области охраны атмосферного воздуха обусловлена двумя группами факторов, которые схематично представлены на рисунке 3.3. Во-первых, это ужесточение законодательных требований, а во-вторых — растущие экологические ожидания общества и необходимость применения наилучших доступных технологий.

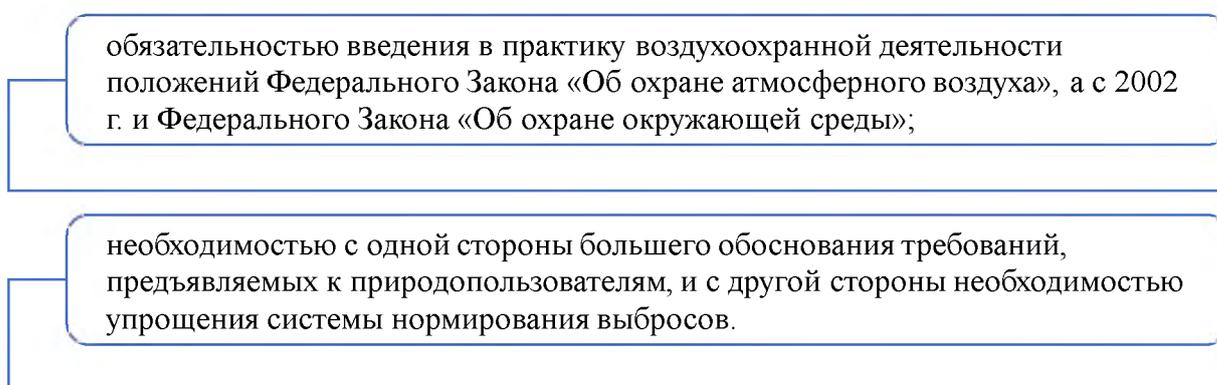


Рисунок 3.3 – Две причины для совершенствования воздухоохранной деятельности

Действующее законодательство, в частности Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха», устанавливает комплексные требования к нормированию выбросов. Норматив предельно допустимого выброса (ПДВ) должен разрабатываться не только с учётом гигиенических нормативов (ПДК), но и на основе экологических критериев, таких как критические нагрузки на экосистемы, а также с учётом характеристик используемого сырья и топлива. В этой связи возникает вопрос о переходе от концепции «санитарно-защитной зоны» (СЗЗ), ориентированной в первую очередь на охрану здоровья человека, к более широкому понятию «эколого-защитной зоны» (ЭЗЗ). ЭЗЗ подразумевает территорию, за пределами которой должны соблюдаться все нормативы качества атмосферного воздуха, включая экологические.

Наряду с ПДВ, законодательством предусмотрено установление

технических нормативов выброса (ТНВ), которые определяются на основе показателей наилучших доступных технологий. Фундаментом для всего процесса нормирования служит достоверная инвентаризация источников выбросов и загрязняющих веществ, обязательность которой закреплена законом. Особое методологическое значение имеет корректный учёт нестационарности (изменчивости во времени) технологических процессов и связанных с ними выбросов. Отсутствие точных данных о режимах работы оборудования и динамике эмиссии часто приводит к необоснованному завышению расчётных величин выбросов и, как следствие, к установлению избыточных нормативов ПДВ и ВСВ (временно согласованных выбросов), что показано на рисунке 3.4.

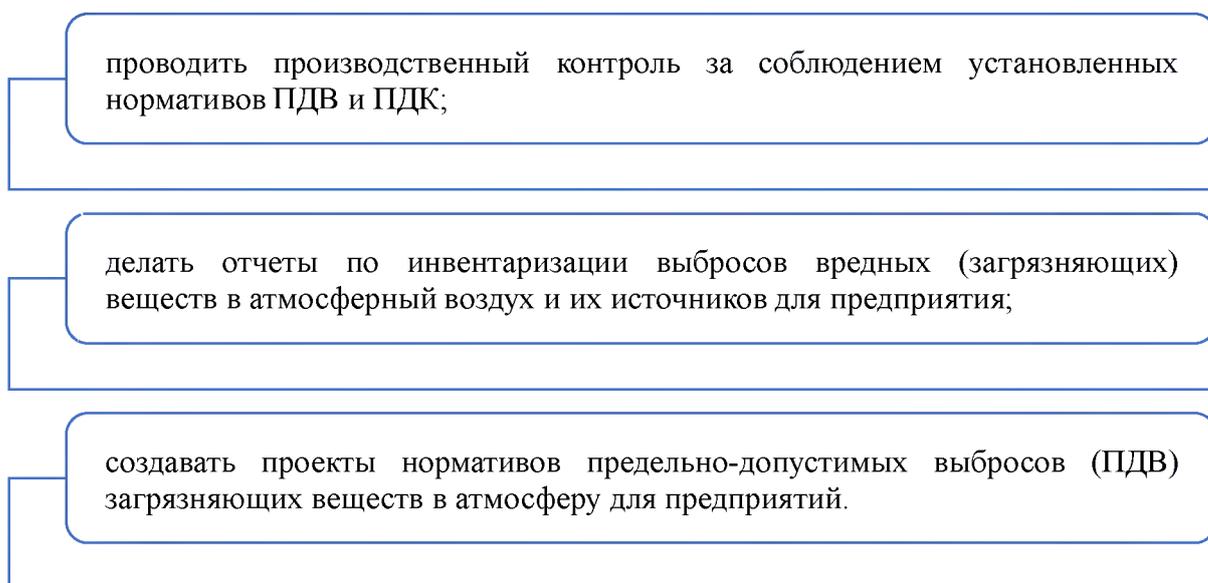


Рисунок 3.4 – Мероприятия по охране атмосферного воздуха

Внедрение перечисленных подходов в практику природоохранной деятельности предприятий позволит значительно повысить обоснованность и точность устанавливаемых нормативов. Применительно к конкретным объектам, таким как котельные, размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) для установок тепловой мощностью менее 200 Гкал устанавливается индивидуально. Основанием для этого, согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03, служат результаты расчётов рассеивания загрязняющих веществ, оценки физических факторов воздействия (шум, вибрация), а также данные натурных

исследований. Таким образом, современная система нормирования стремится к комплексной оценке воздействия, основанной на точных данных и прогрессивных технологических решениях.

На основании проведённых расчётов рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и оценки уровней физического воздействия (шум, вибрация) для котельной в пос. Тюменский установлена санитарно-защитная зона (СЗЗ), проходящая по границе промышленной площадки и составляющая 20 метров. Поскольку в пределах данной зоны и на её границе отсутствует жилая застройка, регулярный инструментальный мониторинг качества атмосферного воздуха и физических факторов на границе СЗЗ не проводится.

Эксплуатация котельной установки сопряжена с рядом опасных и вредных производственных факторов, анализ которых имеет ключевое значение для разработки мер по обеспечению промышленной безопасности. Потенциальные опасности могут возникать в труднодоступных для визуального контроля местах, где возможна повышенная загазованность, а также на участках, посещаемых персоналом нерегулярно.

Опасные факторы можно систематизировать по нескольким основным группам:

– Факторы, связанные с технологическими параметрами процесса. Технологический цикл выработки тепловой энергии характеризуется работой оборудования под высоким давлением и при высоких температурах теплоносителя (воды и пара). Это создаёт риск разгерметизации трубопроводов и аппаратов, что может привести к аварийным ситуациям.

– Пожаровзрывоопасность. Основную опасность в этом аспекте представляет использование природного газа. Образование взрывоопасных концентраций метана в воздухе возможно при розжиге оборудования, в случае неисправностей газовой разводки или при недостаточной продувке коммуникаций. Кроме того, источником возгорания могут стать смазочные материалы и обтирочные отходы при их неправильном хранении.

– Химическая опасность. Персонал подвергается риску химических

ожогов и острых отравлений при работе с реагентами для водоподготовки, такими как гидразингидрат, аммиак и тринатрийфосфат. Отравления также возможны при аварийных выбросах или в случае скопления в низких точках помещений (приямках, колодцах) продуктов неполного сгорания, содержащих оксид углерода (CO), оксиды азота (NOx) и серы (SOx).

– Физические и травмоопасные факторы. К ним относятся: риск поражения электрическим током при обслуживании электрооборудования; возможность получения механических травм (порезы, ушибы) при выполнении ремонтных и погрузочных работ; воздействие шума, вибрации и неблагоприятных параметров микроклимата.

Основными условиями для безопасной эксплуатации котельной являются неукоснительное соблюдение утверждённых технологических регламентов, инструкций по охране труда и промышленной безопасности при всех операциях (пуск, работа, остановка). Критически важными являются также проведение планово-предупредительных ремонтов оборудования и регулярная проверка исправности контрольно-измерительных приборов, средств автоматики, сигнализации и блокировок.

Таким образом, поддержание безопасного режима работы требует комплексного подхода, включающего как технические меры защиты, так и строгое соблюдение персоналом производственной и трудовой дисциплины.

Эксплуатация котельных установок связана с воздействием на персонал комплекса вредных и опасных производственных факторов. Согласно ГОСТ 12.0.003-74, эти факторы классифицируются по природе действия на физические, химические, биологические и психофизиологические. В условиях котельной ведущая роль принадлежит физическим и химическим факторам.

Важнейшей составляющей обеспечения безопасных условий труда является состояние воздушной среды рабочей зоны. Она характеризуется комплексом параметров микроклимата: температурой воздуха (в °C), относительной влажностью (в %), скоростью его движения (в м/с), а также интенсивностью теплового излучения. Оптимальные значения этих параметров

устанавливаются с учётом тяжести выполняемой работы и времени года. Их отклонение, особенно в условиях повышенных тепловыделений от оборудования, может привести к нарушению терморегуляции организма, вызывая перегрев или переохлаждение.

Помимо параметров микроклимата, существенным вредным фактором является возможное присутствие в воздухе рабочей зоны химических загрязнителей. К ним относятся продукты неполного сгорания топлива (оксид углерода, оксиды азота), реагенты для водоподготовки (аммиак, гидразин) и, при работе на мазуте, пары углеводородов и соединения серы. Для достоверной оценки содержания вредных веществ отбор проб воздуха проводится в зоне дыхания работающих (на расстоянии до 0,5 м от лица) в характерных для технологического процесса условиях. Количество последовательных отборов за смену должно быть достаточным для получения репрезентативной гигиенической характеристики.

С точки зрения энергоэффективности, наиболее прогрессивным решением остаётся когенерация — совместная выработка тепловой и электрической энергии. В крупных городах эту функцию выполняют ТЭЦ, а районные котельные (РТС) часто выступают в роли пиковых источников или резерва в единой системе централизованного теплоснабжения.

Для малых населённых пунктов актуальным является строительство мини-ТЭЦ на базе газотурбинных или газопоршневых установок. Использование же чисто котельных установок, вырабатывающих только тепло, считается экономически оправданным преимущественно в случаях наличия избытка электрической энергии в сети или для покрытия локальных нагрузок.

Внедрение современных решений, таких как индивидуальные тепловые пункты (ИТП) в каждом здании с автоматическим регулированием, позволяет значительно повысить эффективность как централизованных, так и децентрализованных систем. Такие ИТП оптимизируют расход теплоносителя и выравнивают энергетическую эффективность разных схем теплоснабжения, сводя преимущество централизованной системы лишь к величине потерь в

магистральных сетях, которые при современной изоляции не превышают 5–7%.

Сравнительный анализ капитальных затрат на разные системы теплоснабжения требует тщательного учёта всех составляющих. При оценке стоимости децентрализованного варианта (автономные котельные) необходимо включать затраты на разводку газопроводов по микрорайону, которые отсутствуют при наличии одной РТС. Существующие нормативы, например, величина подпитки тепловых сетей (0.0075 от объёма трубопроводов по СНиП «Тепловые сети»), носят расчётный характер для выбора оборудования и не всегда отражают реальные эксплуатационные расходы. Кроме того, сопоставление стоимости РТС и парка автономных котельных должно проводиться с учётом полной комплектации обоих вариантов, включая резервное топливное хозяйство (мазутохранилище для РТС или емкости для сжиженного газа для автономных котельных), что нередко приводит к пересмотру первоначальных экономических оценок.

Проведённая оценка подтверждает высокую эффективность и обоснованность предложенного комплекса мероприятий. Ключевое мероприятие — перевод котельной с мазута на природный газ — обеспечивает не только кардинальное, количественно доказуемое сокращение выбросов SO_2 , твёрдых частиц и бенз(а)пирена, но и ликвидацию целого пласта сопутствующих экологических проблем (нефтедержающие стоки, испарения из резервуаров). Экономический эффект от данного перехода складывается из снижения эксплуатационных расходов на обслуживание топливного хозяйства и очистку газов, а также потенциального снижения экологических платежей.

Технические меры по оптимизации режима горения и внедрению автоматизированного контроля, направленные на снижение выбросов NO_x и повышение энергоэффективности, характеризуются относительно невысокими капитальными затратами при значительном экологическом и эксплуатационном результате. Предложенные решения по организации замкнутого водооборотного цикла и очистке стоков являются технически реализуемыми и соответствуют принципу наилучших доступных технологий, предотвращая

негативное воздействие на водные объекты.

Оценка мероприятий в области промышленной безопасности показала, что они носят в основном организационный и предупредительный характер, не требуя масштабных капиталовложений, но при этом существенно снижая производственные риски. Таким образом, разработанный комплекс является сбалансированным и экономически целесообразным, а его поэтапная реализация позволит перевести котельную на качественно новый уровень экологической и технологической безопасности, соответствующий современным требованиям.

В рамках главы был разработан и обоснован комплексный план природоохранных и технологических мероприятий для котельной Небугского сельского поселения. План основан на результатах сравнительного анализа и идентификации основных источников воздействия. Его центральным, системообразующим элементом является полная замена мазута в качестве топлива на природный газ, что обеспечивает максимальный экологический эффект по всем компонентам окружающей среды.

Параллельно предложен ряд сопутствующих технологических мер по оптимизации процесса сжигания, внедрению систем автоматического контроля, а также по организации замкнутого водного цикла и очистке стоков. Отдельный блок мероприятий направлен на минимизацию опасных производственных факторов и повышение уровня промышленной безопасности. Проведённая оценка показала, что предложенные решения являются технически реализуемыми, экономически оправданными и ведут к достижению установленных нормативов качества атмосферного воздуха и безопасности, формируя основу для устойчивой и экологически ответственной эксплуатации объекта.

Заключение

Проведённое исследование было направлено на достижение основной цели – выполнение сравнительного анализа выбросов загрязняющих веществ от котельной при работе на различных видах топлива (мазуте и природном газе) и разработку на этой основе природоохранных мероприятий. В процессе работы были последовательно решены все поставленные задачи, что позволило получить комплексные выводы.

В первой главе работы были проанализированы природно-климатические условия района размещения объекта. Установлено, что территория Небугского сельского поселения характеризуется сложным пересечённым рельефом и влажным субтропическим климатом с чётко выраженной сезонностью. Выявлено, что периоды слабых ветров и высокой влажности, особенно в летний сезон, формируют метеорологические условия, неблагоприятные для рассеивания выбросов, что необходимо учитывать при оценке воздействия.

Во второй главе проведена детальная характеристика котельных установок как источников загрязнения и выполнен сравнительный анализ их эмиссионных профилей. Установлено кардинальное различие в воздействии на атмосферный воздух. Котельная, работающая на мазуте, является источником значительных выбросов широкого спектра загрязняющих веществ, включая диоксид серы, твёрдые частицы (сажа, зола) и канцерогенный бенз(а)пирен, а также формирует риск загрязнения водных объектов. Переход на природный газ позволяет устранить выбросы диоксида серы и твёрдых частиц, а также радикально снизить объёмы эмиссии других загрязнителей, сводя основной контролируемый выброс к оксидам азота.

На основе выявленных закономерностей в третьей главе разработан и обоснован комплекс мероприятий. Ключевым и наиболее эффективным мероприятием является перевод котельной с мазута на природный газ, что обеспечивает максимальный экологический эффект. Дополнительно предложены технологические решения по оптимизации процесса сжигания для

минимизации выбросов оксидов азота, внедрению систем автоматизированного контроля, а также по организации оборотного водоснабжения и очистке сточных вод. Оценка показала техническую реализуемость и экономическую целесообразность предложенных мер.

Таким образом, выполненная работа подтвердила исходную гипотезу о существенном экологическом преимуществе природного газа перед мазутом в качестве топлива для котельных в условиях чувствительной рекреационной территории. Практическая значимость результатов заключается в том, что разработанные рекомендации могут быть использованы для обоснования управленческих решений по модернизации теплоэнергетического хозяйства Небугского сельского поселения с целью снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду и обеспечения устойчивого развития территории. Теоретические выводы и методология проведённого сравнительного анализа могут быть применены для оценки аналогичных объектов в других регионах.

Список литературы

1. Акимова, Т.А., Экология: природа-человек-техника. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2011. — 343 с.
2. Алиев, Р.А., Основы общей экологии и международной экологической политики: учеб. пособие / Р.А. Алиев, А.А. Авроменко и др. — М.: Аспект-Пресс, 2018. — 381 с.
3. Артамонов, В.И., Растения и чистота природной среды. — М.: НАУКА, 1986. — 172 с.
4. Банников, А.Г. Основы экологии и охрана окружающей среды. — М.: Колос, 1999. — 304 с.
5. Биологический контроль окружающей среды / Под ред. Мелеховой О.П. — М.: Академия, 2008. — 288 с.
6. Голицын, А.Н. Основы промышленной экологии. — М.: Академия, 2012. — 240 с.
7. Гридэл, Т.Е. Промышленная экология. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2014. — 513 с.
8. Дьяконов, К.Н., Экологическое проектирование и экспертиза. — М.: Аспект Пресс, 2016. — 384 с.
9. Илькун, Г.М. Загрязнители атмосферы и растений. — Киев: Наукова Думка, 1978. — 246 с.
10. Информационные материалы Санатория «Нефтяник Сибири». Отчет по итогам 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rusprofile.ru/id/8847539> (дата обращения: 09.10.2025)
11. Как загрязнение воздуха влияет на здоровье человека? [Электронный ресурс]. URL: <https://бризекс.пф/blog/zagryaznenie-vozduha-vliyanie-na-zdorove-cheloveka#kak-zagryaznenie-vozduha-vliyaet-na-zdorove-chelov> (дата обращения 24.10.2025)
12. Калыгин, В.Н. Безопасность жизнедеятельности. Промышленная и экологическая безопасность в техногенных чрезвычайных ситуациях / В.Н.

Калыгин, В.А. Бондарь, Р.Я. Дедеян. – М.: КолосС, 2008. – 520 с.

13. Колесников, Е. Ю. Оценка воздействия на окружающую среду. Экспертиза безопасности: учеб. и практикум для бакалавриата и магистратуры / Е. Ю. Колесников, Т. М. Колесникова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 469 с.

14. Коробкин, В.И., Экология. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. — 576 с.

15. Лукьянчиков, Н.Н., Потравный, И. Экономика и организация природопользования. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 554 с.

16. Новиков, Ю.В. Экология, окружающая среда и человек. —М.: Фаир-пресс, 2019. — 551 с.

17. Панин, В.И. Справочное пособие теплоэнергетика жилищно-коммунального хозяйства. – М.: Изд-во литературы по строительству, 2007.— 191 с.

18. Постановление Правительства РФ от 09.12.2020 № 2055 «О предельно допустимых выбросах, временно разрешенных выбросах, предельно допустимых нормативах вредных физических воздействий на атмосферный воздух и разрешениях на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74953246/> (дата обращения: 29.10.2025).

19. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 4 декабря 2014 г. № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» (зарег. в Минюсте РФ 29 декабря 2015 г.) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420240163> (дата обращения: 29.09.2025).

20. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 7 декабря 2020 года № 1021 «Об утверждении методических указаний по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение» (зарег. в Минюсте РФ 25 декабря 2020 г.) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573219716> (дата обращения: 29.09.2025).

21. Приказ Минприроды России от 30 сентября 2011 г. № 792 «Об

утверждении Порядка ведения государственного кадастра отходов» (зарег. в Минюсте РФ 16 ноября 2011 г.) // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2011. – № 50

22. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/400289764/>(дата обращения 27.11.2025)

23. Руководство по эксплуатации автоматической системы дозирования реагентов «Комплексон-6». [Электронный ресурс]. URL: http://www.tgi-group.ru/upload/information_system_18/3/1/1/item_311/.pdf (дата обращения 25.11.2025)

24. Саркисов, О.Р., Экологическая безопасность и эколого-правовые проблемы в области загрязнения окружающей среды: учеб. пособие. Гриф УМЦ «Профессиональный учебник». Гриф НИИ образования и науки. / О.Р. Саркисов, Е.Л. Любарский, С.Я. Каз. – М.: ЮНИТИ, 2013. – 231 с.

25. Справочные материалы по климату Краснодарского края / С.А. Владимиров, Е.И. Хатхоху, Е.Ф. Чебанова. – Краснодар, 2020. – 175 с. 24

26. Сухонослова, А.Н. Очистка почв от нефтяного загрязнения и оценка ее эффективности // Экология и промышленность России. – 2009. – №10. – С.60. 25

27. Тарасова, Н. П. Оценка воздействия промышленных предприятий на окружающую среду / Н. П. Тарасова, Б. В. Ермоленко, В. А. Зайцев, С. В. Макаров. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 312 с.

28. Хоружая, Т.А. Методы оценки экологической опасности. – М.: ИНФРА – М, 2001. – 480 с. 27