

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности
(наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность
(код и наименование направления подготовки)

Системы управления производственной, промышленной и экологической безопасностью
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Обеспечение экологической безопасности при внедрении
ресурсовозобновляемых технологий»

Обучающийся

С. Н. Запрометова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

д.п.н., профессор, Л.Н. Горина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.э.н., доцент, Т.Ю. Фрезе

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Содержание

Введение.....	3
Термины и определения	9
Перечень сокращений и обозначений.....	10
1 Анализ техногенного воздействия организации на окружающую среду.....	11
1.1 Воздействие организации на атмосферу, водные объекты, почву ..	11
1.2 Анализ технологий по воздействию на окружающую среду	15
2 Возобновляемые технологии при обеспечении экологической безопасности организации	30
2.1 Современные ресурсозобновляемые технологии	30
2.2 Внедрение ресурсозобновляемых технологий в организации	36
3 Опытнo-экспериментальная апробация внедрения ресурсозобновляемых технологий в организации.....	61
3.1 Алгоритм внедрения ресурсозобновляемых технологий в организации	61
3.2 Оценка эффективности внедрения ресурсозобновляемых технологий в организации.....	69
Заключение	79
Список используемых источников.....	82

Введение

Актуальность и научная значимость настоящего исследования связана с проблемами изменения климата, и истощение природных ресурсов становятся всё более актуальными. Решение этих проблем требует перехода от традиционных источников энергии к ресурсосберегающим и экологически чистым альтернативам. Внедрение ресурсозобновляемых технологий, таких как солнечные батареи, ветряные установки, гидроэнергетика и др., становится ключевым шагом в направлении устойчивого развития. Однако, при переходе к таким технологиям, необходимо учитывать их влияние на окружающую среду и обеспечивать экологическую безопасность в процессе их внедрения.

Ресурсозобновляемые технологии предлагают ряд существенных экологических преимуществ. Во-первых, они не производят выбросы парниковых газов, что снижает влияние на изменение климата. Сравнивая это с ископаемыми видами энергии, такими как уголь и нефть, ресурсосберегающие технологии существенно уменьшают загрязнение атмосферы и уровень смога. Во-вторых, использование солнечной и ветровой энергии не требует больших площадей и не ведет к вырубке лесов или нарушению экосистем. Это способствует сохранению биоразнообразия и природных ресурсов [24].

Одним из аргументов в пользу ресурсозобновляемых технологий является их эффективность и экономичность в долгосрочной перспективе. Хотя установка солнечных панелей или ветряных установок требует значительных вложений в начале, в будущем эксплуатация этих систем стоит гораздо дешевле, чем добыча и транспортировка ископаемых видов энергии. Экономия ресурсов, полученная благодаря использованию возобновляемых источников, обеспечивает устойчивость их производства и снижает зависимость от колебаний цен на нефть и газ.

Однако, несмотря на множество преимуществ, внедрение

ресурсовозобновляемых технологий также сталкивается с определенными проблемами. Одной из основных является нестабильность производства энергии из-за изменчивости погодных условий. Ветровые установки могут не работать при отсутствии ветра, а солнечные батареи – в ненастную погоду или ночью. Эти проблемы могут быть решены с помощью развития систем хранения энергии и создания гибридных систем, объединяющих несколько видов возобновляемых источников.

Кроме того, важно обращать внимание на управление отходами, связанными с производством и утилизацией ресурсовозобновляемых технологий. Солнечные панели содержат в себе редкие металлы и другие материалы, которые требуют специальной обработки при утилизации. Грамотное управление отходами и переработка материалов становятся ключевыми аспектами обеспечения экологической безопасности в этой области [23].

Внедрение ресурсовозобновляемых технологий имеет огромный потенциал для снижения негативного влияния на окружающую среду и создания устойчивой энергетической системы.

Для обеспечения экологической безопасности при внедрении ресурсовозобновляемых технологий следует учитывать несколько ключевых аспектов, представленных ниже.

Минимизация экологического воздействия. При разработке и внедрении ресурсовозобновляемых технологий необходимо уделять особое внимание минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Это может включать в себя выбор материалов с меньшим экологическим следом, разработку эффективных методов утилизации или переработки отходов, а также уменьшение выбросов вредных веществ.

Социальный аспект. Важно учитывать влияние внедрения ресурсовозобновляемых технологий на местное население и общество в целом. Это включает в себя обеспечение рабочих мест, участие сообщества в процессе принятия решений и обеспечение доступности экологически

чистых технологий для всех слоев населения.

Содействие инновациям. Стимулирование и поддержка инноваций в области ресурсозобновляемых технологий способствует появлению более экологически безопасных и эффективных решений.

Образование и информирование. Важно обеспечить информирование и образование общества о преимуществах ресурсозобновляемых технологий и их влиянии на окружающую среду, что способствует более широкому внедрению этих технологий [21].

Законодательные и стандартные нормы. Создание и соблюдение соответствующих законодательных актов и стандартов также играет важную роль в обеспечении экологической безопасности при внедрении ресурсозобновляемых технологий.

Учитывая эти аспекты, можно обеспечить более эффективное и безопасное внедрение ресурсозобновляемых технологий.

Объект исследования: система экологической безопасности при внедрении различных видов ресурсозобновляемых технологий и их воздействие на окружающую среду и общество.

Предмет исследования: ресурсозобновляемые технологии для обеспечения экологической безопасности и их воздействие на окружающую среду и общество.

Цель исследования: состоит в снижении выбросов и антропогенной нагрузки на экологию с помощью внедрений ресурсозобновляемых технологий. Цель работы будет достигаться через научно обоснованное нормативно-методическое обеспечение анализа.

Гипотеза исследования состоит в том, что внедрение ресурсозобновляемых технологий позволит обеспечить экологическую безопасность, если будет:

- проведен анализ экологической безопасности организации;
- проанализированы достоинства и недостатки современных ресурсозобновляемых технологий;

- проанализированы необходимые конструктивные изменения частей и устройств оборудования для дальнейшего применения ресурсозобновляемых технологий;
- разработан алгоритм внедрения и апробация внедрения ресурсозобновляемых технологий в организации;
- оценены затраты на планируемые мероприятия по апробации внедрения ресурсозобновляемых технологий в организации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести анализ воздействия организации на атмосферу, водные объекты, почву. Проанализировать существующие ресурсозобновляемые технологии по их воздействию на окружающую среду;
- определить ключевые аспекты минимизации экологического воздействия организации при внедрении ресурсозобновляемых технологий;
- рассмотреть инновационные подходы и методы, способствующие обеспечению экологической безопасности при внедрении ресурсозобновляемых технологий;
- разработать алгоритм внедрения и апробировать внедрение ресурсозобновляемых технологий в организации;
- выполнить оценку эффективности предложенных мероприятий по внедрению ресурсозобновляемых технологий.

Теоретико-методологическую основу исследования составили: исследования в области эффективности обеспечения экологической безопасности при внедрении ресурсозобновляемых технологий.

Методы исследования, применяемые в магистерской диссертации: анализ техногенного воздействия организации на окружающую среду, обработка технической информации.

Опытно-экспериментальная база исследования ООО

«Промгидроремонт».

Научная новизна исследования заключается во внедрении современных ресурсозобновляемых технологий в организации с обеспечением минимизации экологического воздействия на окружающую среду.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке мероприятий внедрения ресурсозобновляемых технологий в организации и оценке их эффективности по обеспечению экологической безопасности предприятия.

Практическая значимость работы состоит в возможности применения разработанных предложений на выбранном объекте и в других организациях.

Достоверность и обоснованность результатов: выполнена опытно-экспериментальная апробация внедрения ресурсозобновляемых технологий в организации.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в опытно-экспериментальной апробации внедрения ресурсозобновляемых технологий в организации ООО «Промгидроремонт».

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты представлены в статье: Запрометова С.Н. Обеспечение экологической безопасности при внедрении ресурсозобновляемых технологий // Форум молодых ученых. 2024. №8(96)

На защиту выносятся:

1. энергетические потребности и источники потребления в организации соответствуют установленным параметрам потребления и представляют собой оборудование отечественного производства, что свидетельствует об использовании устаревших технологий на предприятии и не позволяет эффективно использовать все ресурсы предприятия, к тому же наносит вред окружающей среде;
2. результаты анализа воздействия деятельности организации на окружающую среду позволили в качестве приоритета рассмотреть

возможность внедрения и дальнейшего использования ресурсозобновляемых технологий, которые позволят снизить негативное воздействие на окружающую среду;

3. использование биодизельного топлива в организации повлечет затраты на модернизацию, дальнейшее обслуживание модернизированного оборудования, но решит проблему вредных выбросов в атмосферу;
4. внедрение использования биодизельного топлива в организации не требует замены или значительного переоборудования котлоагрегатов, необходима модернизация элементов топочного устройства;
5. срок окупаемости составляет 2,4 года, что не превышает 5 лет. Оценка эффективности мероприятий по внедрению использования биодизельного топлива в организации проводилась по критериям экономической эффективности и экологического воздействия, что показало уменьшение показателей расхода топлива, снижение себестоимости 1 Гкал тепла на выходе, снижение количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Применение биодизельного топлива считаем целесообразным и с экологической точки зрения, и с экономической.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, трех разделов, заключения, содержит 14 рисунков, 11 таблиц, список используемых источников (30 источников). Основной текст работы изложен на 79 страницах.

Термины и определения

Экологическая безопасность – обеспечение сохранения природной среды, предотвращение воздействия техногенных процессов на экосистемы.

Ресурсовозобновляемые технологии – технологии, использующие источники энергии, способные воспроизводиться в природной среде, например, солнечная или ветровая энергия.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – энергия, получаемая из источников, способных воспроизводиться, таких как солнечная, ветровая, гидроэнергия.

Диоксид углерода – газ, являющийся основным веществом, приводящим к парниковому эффекту, вредному для окружающей среды.

Энергоэффективность – способность технологии использовать минимальное количество энергии для достижения максимальных результатов.

Экологический стандарт – установленные нормы и требования по охране окружающей среды при использовании технологий.

Экологический аудит – систематическое оценивание воздействия деятельности предприятия на окружающую среду.

Экологически устойчивое развитие – форма развития, обеспечивающая удовлетворение потребностей текущих поколений без ущерба для возможностей будущих поколений.

Перечень сокращений и обозначений

ВИЭ – возобновляемые источники энергии. Энергия, добываемая из источников, таких как солнце, ветер, водные ресурсы и другие природные процессы.

БИО – биоразнообразие. Разнообразие живых организмов в определенной области, важный показатель экосистемного здоровья.

ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость. ЛВЖ может быть различным химическим соединением, таким как бензин, масла, растворители, ацетон и т.д.

ЭБ – экологическая безопасность. Мера защиты окружающей среды от негативных воздействий человеческой деятельности, направленная на сохранение природных ресурсов и обеспечение устойчивого развития.

РВТ – ресурсовозобновляемые технологии. Технологии, использующие источники энергии и материалов, способные восполниться в течение приемлемого времени, минимизируя негативное воздействие на окружающую среду.

СОЗ – системы очистки загрязнений. Технологии и устройства, предназначенные для удаления загрязнений из воды, воздуха или почвы.

НПБ – нормы пожарной безопасности. Нормативные документы, которые содержат требования по обеспечению пожарной безопасности при проектировании, строительстве, эксплуатации и ремонте различных объектов.

1 Анализ техногенного воздействия организации на окружающую среду

1.1 Воздействие организации на атмосферу, водные объекты, почву

В первую очередь кратко охарактеризуем рассматриваемый в данной работе объект. Существующий источник теплоснабжения для нужд промышленной площадки, представляет собой котельную. В котельной установлены паровые котлы модели FR 25-3-12; водогрейные котлы марки «Термотехник ТТ100 и единый водогрейный котел ЗИОСАБ-500, работающие на газе и дизельном топливе. Кроме котлов в котельной предусмотрена установка сетевых, рециркуляционных, подпиточных, питательных, конденсатных насосов. Для обработки исходной воды предусмотрена автоматическая установка непрерывного действия TS 95-21М» [17].

Котельные, использующие различные виды топлива, могут оказывать различное влияние на окружающую среду [12]:

- при сжигании угля котельные могут выделять значительное количество углекислого газа, серы, азота и других загрязняющих веществ, что приводит к загрязнению атмосферы. Также выбросы твердых частиц при сжигании угля могут негативно влиять на качество воздуха;
- использование природного газа в котельных обычно считается более экологически чистым вариантом, поскольку при сжигании природного газа выделяется меньше углекислого газа и других загрязняющих веществ. Однако при добыче и транспортировке природного газа могут происходить утечки метана, который является сильным парниковым газом;
- использование древесных отходов или биомассы в котельных также

может иметь как положительное, так и отрицательное влияние. С одной стороны, сжигание биомассы может считаться углеродно-нейтральным процессом, так как природные процессы могут компенсировать выбросы углекислого газа. Однако неконтролируемое использование биомассы может привести к деградации лесов и других экосистем.

В ходе производственной деятельности предприятие осуществляет эмиссию различных загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Основные источники эмиссии и соответствующие им загрязнители можно систематизировать следующим образом.

Центральным источником выбросов является котельная установка, функционирующая на мазутном топливе. В процессе её работы в атмосферу поступают продукты сгорания, включающие азотные соединения (в форме диоксида и оксида), углеродные частицы, серный диоксид, монооксид углерода, а также специфические компоненты - бенз(а)пирен и зольные частицы, характерные для теплоэнергетических установок, работающих на мазуте [7].

Значительный вклад в загрязнение вносят объекты хранения и обращения с горюче-смазочными материалами. В частности, из мазутохранилища, систем улавливания нефтепродуктов и резервуаров с дизельным топливом выделяются сероводород и углеводородные соединения (преимущественно C₁₂-C₁₉). При операциях с маслами происходит эмиссия минеральных масляных аэрозолей.

Производственные процессы, связанные с обработкой металлов, сопровождаются выделением специфических загрязнителей. На участках сварки и резки металла образуются оксиды железа, соединения марганца, азотные оксиды, монооксид углерода и газообразные фториды. Деревообрабатывающее оборудование является источником древесной пыли, а окрасочные работы сопровождаются выделением паров уайт-спирита.

Отдельного внимания заслуживают выбросы от двигателей

внутреннего сгорания технических средств, эксплуатируемых на территории предприятия. В выхлопных газах присутствуют оксиды азота (как в форме диоксида, так и оксида), твёрдые частицы углерода, сернистый ангидрид, угарный газ и пары керосина [26].

Количественная оценка эмиссии загрязняющих веществ осуществляется с применением расчетного метода в соответствии с утвержденными методиками. Результаты этих расчетов систематизированы в форме аналитических таблиц, отражающих качественные и количественные характеристики выбросов от всех идентифицированных источников загрязнения атмосферного воздуха.

Проведенный анализ экологического воздействия котельного хозяйства демонстрирует существенную техногенную нагрузку на воздушный бассейн. Совокупный годовой выброс загрязняющих веществ достигает 16,085 тонн, причем основную массу составляют газообразные компоненты - 15,432 тонны, в то время как на твердые частицы приходится 0,653 тонны.

Таблица 1 – Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу [18]

Вещество		Критерий	Значение критерия, мг/м ³	Класс опасности	Суммарный выброс вещества, т/год
Код	Наименование				
0123	диЖелезо триоксид, (железа оксид) /в пересчете на железо/	10 ПДК _{с.с.}	0,4	3	0,0078144
0143	Марганец и его соединения /в пересчете на марганца (IV) оксид/	ПДК _{м.р.}	0,01	2	0,000561
0301	Азота диоксид	ПДК _{м.р.}	0,2	3	2,406077
0304	Азот (II) оксид	ПДК _{м.р.}	0,4	3	0,39098743
0328	Углерод	ПДК _{м.р.}	0,15	3	0,59273798
0330	Сера диоксид	ПДК _{м.р.}	0,5	3	2,820712
0333	Дигидросульфид	ПДК _{м.р.}	0,008	2	0,01944106

Продолжение таблицы 1

Код	Вещество	Критерий	Значение критерия, мг/м ³	Класс опасности	Суммарный выброс вещества, т/год
	Наименование				
0337	Углерода оксид	ПДК _{м.р.}	5	4	2,543644
0342	Фтористые газообразные соединения /в пересчете на фтор/ (гидрофторид)	ПДК _{м.р.}	0,02	2	0,000204
0703	Бенз /а/ пирен	10ПДК _{с.с.}	0,00001	1	0,000002225
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) /в пересчете на углерод/	ПДК _{м.р.}	5	4	0,0037785
2732	Керосин	ОБУВ	1,2		0,0016267
2735	Масло минеральное нефтяное (веретенное, машинное, цилиндрическое и др.)	ОБУВ	0,05		0,17816
2752	Уайт-спирит	ОБУВ	1		0,14
2754	Алканы С12-С19 (в пересчете на С)	ПДК _{м.р.}	1	4	6,92774
2904	Мазутная зола теплоэлектростанций /в пересчете на ванадий/	10ПДК _{с.с.}	0,02	2	0,0507
2930	Пыль абразивная (Корунд белый; Монокорунд)	ОБУВ	0,04		0,000792
2936	Пыль древесная	ОБУВ	0,5		0,0005215
Всего веществ:					16,08549979
В том числе твердых:					0,65312910
Жидких/газообразных:					15,43237069

Таблица 2 – Перечень групп загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу

Код	Наименование
Группы веществ, обладающих эффектом комбинированного вредного действия	
02	(0301) Азота диоксид (0304) Азот (II) оксид (0330) Сера диоксид (2904) Мазутная зола теплоэлектростанций /в пересчете на ванадий/
30	(0330) Сера диоксид (0333) Дигидросульфид
31	(0301) Азота диоксид (0330) Сера диоксид
35	(0330) Сера диоксид (0342) Фтористые газообразные соединения /в пересчете на фтор/ (гидрофторид)

Выведение отходов в атмосферу может привести к загрязнению воздуха, что негативно влияет на здоровье людей и экосистемы. Выбросы загрязняющих веществ также могут оказывать влияние на климат. Вода, используемая в процессе производства энергии в котельных, может быть загрязнена химическими веществами, что приводит к загрязнению водных объектов. Кроме того, отходы от котельных могут загрязнять почву, влиять на биологическое разнообразие и качество почвенных ресурсов. Эти факторы указывают на необходимость разработки и внедрения более экологически чистых технологий и методов работы в котельной отрасли.

1.2 Анализ технологий по воздействию на окружающую среду

Котельные, использующие паровые и водогрейные котлы на природном газе и дизеле, оказывают различное воздействие на окружающую среду [2]. Экологическое воздействие котельных установок существенно варьируется в зависимости от типа используемого оборудования и применяемого топлива. Анализ эмиссионных характеристик различных котельных систем позволяет выявить следующие закономерности [8].

При эксплуатации паровых котлов на природном газе наблюдается относительно благоприятный экологический профиль. Характерной особенностью является пониженная эмиссия диоксида углерода в сравнении с котлами, работающими на дизельном топливе. Дополнительным преимуществом выступает минимизация выбросов оксидов азота и дисперсных твердых частиц.

Напротив, паровые установки, функционирующие на дизельном топливе, демонстрируют повышенную экологическую нагрузку. Это проявляется в значительной концентрации азотных оксидов и твердых частиц в отходящих газах. Также отмечается более интенсивная эмиссия углекислого газа по сравнению с газовыми аналогами.

«Водогрейные котлы обнаруживают схожие экологические

характеристики. При использовании природного газа наблюдается существенное снижение выбросов, как углекислого газа, так и прочих поллютантов. В случае применения дизельного топлива, как и в паровых системах, регистрируется повышенное содержание оксидов азота и твердых частиц в выбросах» [8].

В процессе производственной деятельности предприятия формируется широкий спектр отходов различных классов опасности. К особо опасным относятся ртутьсодержащие отходы: отработанные люминесцентные лампы и термометры.

Офисная деятельность предприятия приводит к образованию отходов оргтехники (отработанные картриджи, компьютерные периферийные устройства), бумажных и картонных отходов от делопроизводства. Эксплуатация территории сопровождается формированием смета и осадков очистных сооружений ливневой канализации.

Особую категорию составляют отходы от обслуживания энергетического оборудования, включая золосажевые отложения, образующиеся при очистке котельных установок. Также образуются различные виды отходов от вспомогательных производственных процессов, такие как отработанные масла, абразивные материалы, текстильные отходы и тормозные колодки.

Сведения о местах накопления приведены в таблице 3 [13].

Таблица 3 – Сведения о местах накопления отходов

Наименование	Вместимость, тонн					
	Общая	Для накопления отходов				
		I класс опасности	II класс опасности	III класс опасности	IV класс опасности	V класс опасности
Закрываемое помещение АХЗ	0,100	0,100				

Продолжение таблицы 3

Наименование	Вместимость, тонн					
	Общая	Для накопления отходов				
		I класс опасности	II класс опасности	III класс опасности	IV класс опасности	V класс опасности
Бытовое помещение АКБ	1,000		1,000			
Металлическая ёмкость № 1	0,300			0,300		
Металлическая ёмкость № 2	0,300			0,300		
Металлический контейнер № 1	0,100			0,100		
Металлический контейнер № 2	0,100			0,100		
Металлический контейнер № 3	0,100			0,100		
Металлический контейнер № 4	25,000			25,000		
Металлический контейнер № 5	10,000				10,000	
Металлический контейнер № 6	20,000				20,000	
Открытая площадка	1,500					1,500

Путем всестороннего рассмотрения инициирующих факторов аварий, механизмов их развития, технологической специфики производства и характера распределения вредных субстанций были выделены стандартные варианты протекания нештатных ситуаций. Наглядное отображение данных сценариев можно увидеть в схемах, размещенных на рисунках 1, 2, 3 и 4. Каждая схема демонстрирует различные варианты развития аварийных ситуаций, их возможные причины и последствия, а также взаимосвязи между различными факторами, влияющими на ход развития аварии.

Данные схемы позволяют наглядно представить последовательность событий при различных сценариях развития аварийных ситуаций и могут служить основой для разработки превентивных мер и планов реагирования на чрезвычайные ситуации.



Рисунок 1 – Схема сценариев развития аварий на открытой площадке



Рисунок 2 – Схема сценариев развития аварий в помещении (замкнутом пространстве)



Рисунок 3 – Схема сценариев развития аварий в резервуаре

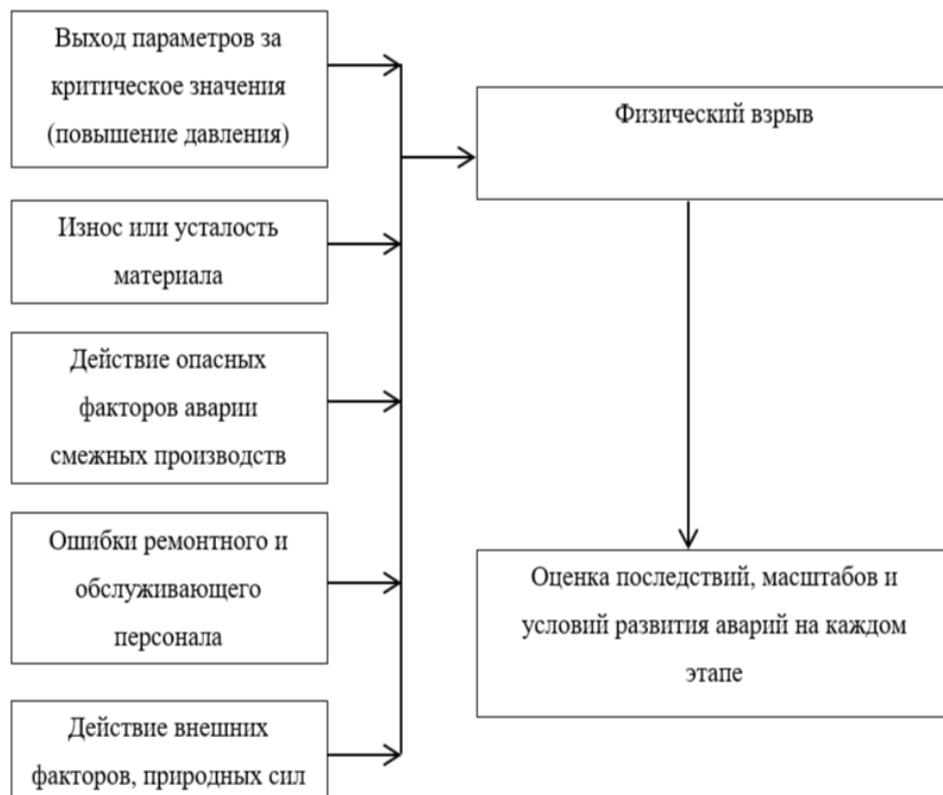


Рисунок 4 – Схема сценариев развития аварий непосредственно в котельной

Тщательное изучение смоделированных аварийных сценариев позволило определить спектр возможных негативных последствий и установить первостепенные факторы риска, характерные для производственных комплексов, относящихся к категории опасных.

Детальная информация о выявленных поражающих факторах, их характеристиках и потенциальных последствиях систематизирована и представлена в таблице 4. Такая систематизация позволяет оценить возможные риски и разработать соответствующие меры по предупреждению и минимизации негативных последствий аварийных ситуаций на производственных объектах.

Таблица 4 – Основные поражающие факторы при авариях

Последствия	Основной поражающий фактор
Пролив нефтепродуктов	Токсическое воздействие
Пожар пролива нефтепродуктов	Прямое воздействие пламени, тепловое излучение. Токсическое воздействие продуктов горения.
Открытый пожар внутри резервуара	Прямое воздействие пламени, тепловое излучение. Токсическое воздействие продуктов горения.
Взрыв ТВС в помещении (замкнутом пространстве)	Ударная волна. Осколочные поля, создаваемые летящими обломками. Завалы, обрушения конструкций, сооружений, зданий.
Взрыв ТВС на открытой площадке	Ударная волна. Осколочные поля, создаваемые летящими обломками. Завалы, обрушения конструкций, сооружений, зданий.
Физический взрыв	Ударная волна. Осколочные поля, создаваемые летящими обломками. Завалы, обрушения конструкций, сооружений, зданий.

В контексте поиска альтернативных энергетических решений особый интерес представляет биодизельное топливо как один из видов возобновляемых источников энергии. Биодизель представляет собой продукт переработки биологического материала, преимущественно получаемый из

растительного сырья. Основными источниками для его производства выступают сахарный тростник, семена рапса, кукурузы и сои. Существуют также перспективные разработки по получению биотоплива из целлюлозосодержащих материалов и органических отходов, однако данные технологические решения находятся на начальных этапах разработки и промышленного внедрения.

Экологическая значимость биотоплива обусловлена проблемой интенсивной эмиссии углекислого газа при сжигании традиционных нефтепродуктов. Увеличение концентрации CO₂ в атмосфере провоцирует серьезные экологические трансформации. Усугубляет ситуацию тот факт, что помимо диоксида углерода, при сжигании нефтепродуктов выделяется широкий спектр токсичных соединений, оказывающих деструктивное воздействие на экосистемы и биологическое разнообразие.

Особую остроту проблеме придает значительный вклад автотранспортного сектора в загрязнение воздушного бассейна урбанизированных территорий, достигающий 80% от совокупного объема эмиссии поллютантов. Современное глобальное потребление моторных топлив составляет порядка 1,8 миллиарда тонн ежегодно, включая более 800 миллионов тонн автомобильных бензинов и других легковоспламеняющихся жидкостей. Сжигание такого количества топлива сопровождается масштабными выбросами оксидов углерода, метанола, несгоревших углеводородов, включая полициклические канцерогенные соединения, а также различных форм углерода.

Биодизельное топливо представляется одним из перспективных решений обозначенных проблем, способным заменить традиционные нефтяные моторные топлива. Это экологически безопасный энергоноситель, производимый из растительных масел различного происхождения: рапсового, соевого, арахисового, пальмового, а также отработанных подсолнечного и оливкового масел. Дополнительным сырьевым источником могут выступать животные жиры. Являясь альтернативой минеральному

дизельному топливу, биодизель обладает потенциалом для существенного снижения негативного воздействия транспортного сектора на окружающую среду.

Физико-химические характеристики биодизельного топлива демонстрируют ряд существенных преимуществ. Особого внимания заслуживает высокий показатель цетанового числа, варьирующийся в диапазоне от 45,8 до 56,9 единиц. Не менее важным параметром является температура вспышки, превышающая 100 градусов Цельсия, что обеспечивает повышенную безопасность при обращении с данным видом топлива. Существенным преимуществом биодизеля выступают его улучшенные смазывающие свойства в сравнении с современными низкосернистыми дизельными топливами. Данная характеристика способствует значительному увеличению эксплуатационного ресурса двигательных установок и топливных насосов - в среднем на 60%.

Анализ экологических характеристик биодизельного топлива демонстрирует его существенные преимущества в контексте снижения негативного воздействия на окружающую среду по сравнению с традиционными нефтепродуктами. При эксплуатации энергетических установок на чистом биодизельном топливе (B100) достигается значительное улучшение экологических показателей: наблюдается сокращение эмиссии несгоревших углеводородов более чем на половину (56%), выбросы твердых частиц уменьшаются на 55%, а эмиссия монооксида и диоксида углерода снижается на 43%.

Использование смесевых композиций, в частности состава B20, содержащего 20% биодизельного компонента, также обеспечивает заметное улучшение экологических характеристик процесса сгорания. В этом случае регистрируется снижение концентрации несгоревших углеводородов в отработавших газах на 11%, уменьшение выбросов твердых дисперсных частиц достигает 18%, а эмиссия оксидов углерода сокращается на 12%. Полученные результаты убедительно свидетельствуют о том, что даже при

частичном замещении традиционного дизельного топлива биологическим компонентом достигается существенное улучшение экологических показателей энергетических установок.

Особого внимания заслуживает технологическая гибкость применения биодизельного топлива в существующих энергетических системах. Данный вид альтернативного топлива характеризуется исключительной адаптивностью к стандартным дизельным силовым установкам, не требуя внесения конструктивных изменений в их компоновку или систему топливоподачи. Технологическая универсальность биодизеля позволяет использовать его как в чистом виде, так и в составе различных топливных композиций с традиционным дизельным топливом, что обеспечивает гибкость в выборе оптимального состава топлива в зависимости от конкретных эксплуатационных условий. Важную роль в производственном процессе биодизельного топлива играют метиловые эфиры рапсового масла, получаемые путем переработки семян рапса, что способствует развитию сельскохозяйственного сектора и повышению энергетической независимости [1].

Превалирование биоэтанола в структуре производства обусловлено высокой экономической эффективностью его получения. При средней урожайности рапса в диапазоне 2-4 тонны с гектара обеспечивается выход биоэтанола в объеме 1-1,5 тонны. Дополнительным преимуществом процесса является получение 2-2,5 тонн высококачественных кормовых продуктов растительного происхождения, что существенно повышает экономическую привлекательность производства [14].

Особого внимания заслуживают эксплуатационные характеристики растительных моторных топлив. По своим основным физико-химическим и энергетическим показателям они демонстрируют высокую степень соответствия параметрам традиционного дизельного топлива. При этом существенным преимуществом биодизельного топлива является значительно меньший объем вредных выбросов в процессе эксплуатации, что определяет

его высокую экологическую эффективность.

Анализ структуры потребления биотоплива [15] свидетельствует о том, что основная доля производимого биоэтанола идет на удовлетворение внутригосударственных потребностей в биологическом горючем.

Следовательно, и здесь лидируют США и Бразилия, на долю которых в совокупности приходится около 90% потребления [25]. В США биоэтанол используется в качестве 10% добавки к бензину. В Бразилии биоэтанол потребляется как в чистом топливе (E100), так и смешивается с традиционным бензином с добавкой от 20 до 25% [25].

К числу крупных потребителей регионов можно отнести и Европу, где в отдельных регионах в рекомендательном или директивном порядке установлены процентные показатели использования биологического горючего.

Смесь B20 (20% биодизельного топлива, 80% дизельного топлива) является в настоящее время самой распространенной биодизельной смесью [10].

К настоящему моменту национальные биодизельные программы запущены более чем в 20 государствах.

Экологическая безопасность биодизеля проявляется в нескольких ключевых аспектах. При попадании в водные объекты данный вид топлива не оказывает негативного воздействия на гидробионты и водную растительность. Высокая биоразлагаемость биодизеля обеспечивает его практически полную деструкцию в почвенной и водной среде в течение 25-30 суток. Особенно важным экологическим преимуществом является замкнутый углеродный цикл: объем диоксида углерода, выделяемого при сгорании биодизеля, эквивалентен количеству CO₂, поглощенному растениями-сырьем в процессе их вегетации. Существенным преимуществом также является минимальное содержание серы в составе биодизеля по сравнению с традиционным дизельным топливом.

В технико-экономическом аспекте биодизельное топливо

демонстрирует ряд значимых преимуществ. Производственный процесс характеризуется высокой ресурсоэффективностью: побочный продукт в виде жмыха находит применение в животноводстве как высококачественный корм, обеспечивая комплексное использование исходной биомассы. Развитие биодизельного производства способствует вовлечению в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых земель низкого качества.

Особого внимания заслуживают уникальные смазывающие свойства биодизеля. В отличие от минерального дизельного топлива, которое теряет смазывающую способность при удалении серосодержащих соединений, биодизель сохраняет превосходные смазывающие характеристики благодаря специфическому химическому составу, в частности, наличию кислородсодержащих компонентов. Многочисленные независимые исследования подтверждают, что использование биодизеля в стандартных двигателях без модификации увеличивает срок службы двигателя и топливного насоса минимум на 50%.

Высокие технико-экономические показатели и экологические преимущества биодизеля стимулируют развитие государственных программ поддержки его производства и потребления во многих странах. Эти программы включают как обязательные нормативы, так и стимулирующие меры. Несмотря на определенные специфические особенности и ограничения, мировое производство биодизеля демонстрирует устойчивый рост, подтверждая статус одного из наиболее перспективных видов биотоплива [11].

Сырьевая база для производства биодизеля характеризуется значительным разнообразием: это могут быть различные растительные масла, твердые жиры животного происхождения, отходы масложировой промышленности и мясоперерабатывающих предприятий. Среди растительных масел наиболее распространены подсолнечное, рапсовое и льняное. Качественные характеристики получаемого биотоплива существенно зависят от исходного сырья. Например, биодизель из

пальмового масла обладает максимальной теплотворной способностью, но характеризуется высокой температурой застывания. Рапсовый биодизель, имея несколько меньшую калорийность, демонстрирует лучшие низкотемпературные свойства.

Определенные сложности в использовании биодизеля связаны со сложностью его хранения. Метилловые эфиры жирных кислот склонны к окислению и чувствительны к проникновению воды.

Повышенная растворяющая способность и его агрессивность могут создать проблемы для топливной системы. Биодизель способен растворять не только старые отложения, но порой и отдельные полимерные детали, эластомеры, клеевые соединения и даже металлы в топливной системе. Так, вполне возможна реакция с такими антикоррозийными покрытиями как оцинковка или внутренние защитные слои топливного бака, основу которых составляет эпоксидная смола. Биодизель, вступающий в реакцию с материалами топливной системы, образует в результате мылообразные продукты, засоряющие фильтр.

Производство биодизельного топлива базируется на процессе переэтерификации растительных масел (рапсового, подсолнечного, соевого и других видов). В качестве реагента преимущественно используется метиловый спирт, реже применяются этанол или изопропиловый спирт. Технологический процесс осуществляется при температурном режиме 60°C и нормальном атмосферном давлении. Материальный баланс процесса предусматривает использование 100 килограммов метанола на тонну растительного масла с добавлением каталитических агентов - гидроксидов калия или натрия [28].

Технологическая схема производства биодизеля (рисунок 5) включает несколько последовательных этапов. Ключевыми технологическими блоками являются: подготовка и очистка масляного сырья, приготовление каталитического раствора, осуществление процесса переэтерификации, многоступенчатая очистка получаемого продукта, его стабилизация,

регенерация метанола и организация складского хранения готовой продукции. Важным технологическим ограничением является относительно короткий срок хранения биодизеля - не более трех месяцев, что обусловлено его биохимической природой и склонностью к разложению [27].

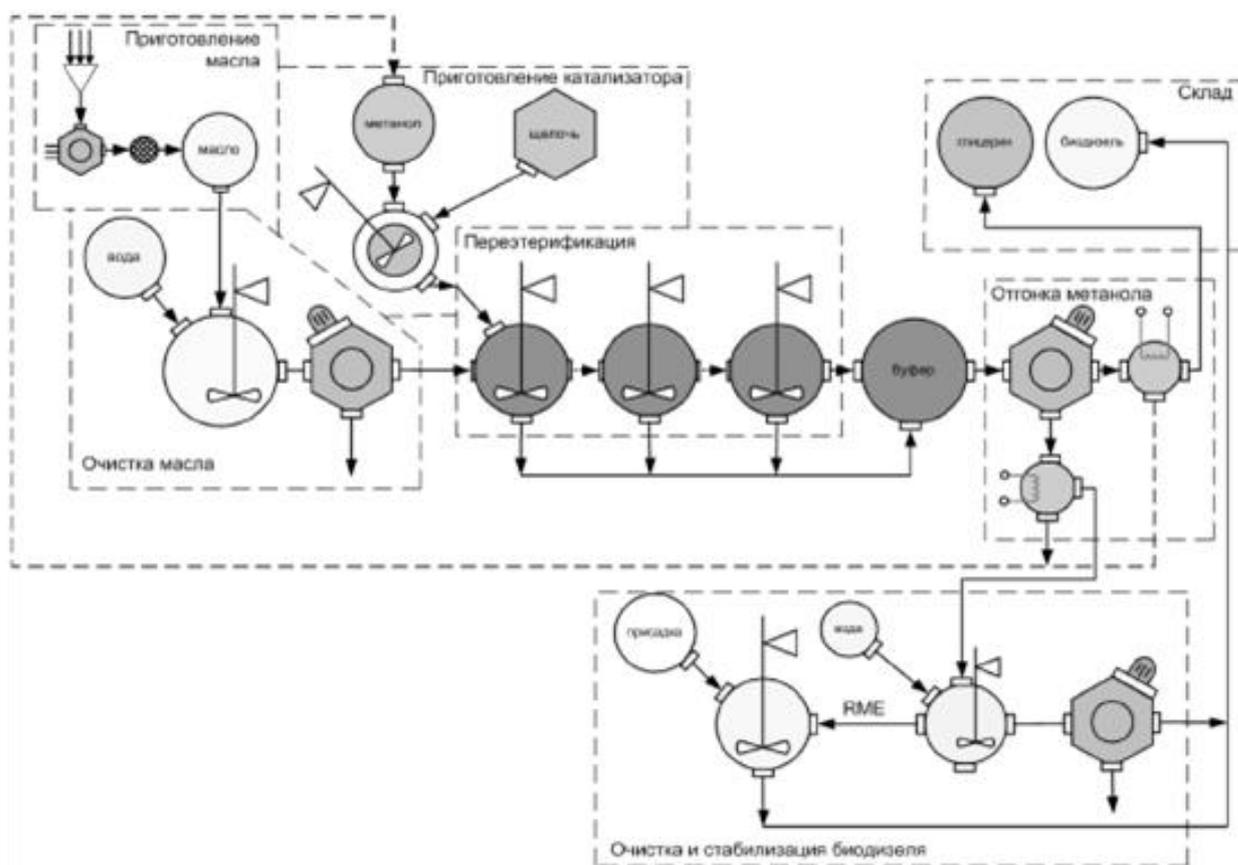


Рисунок 5 – Схема производства биодизеля

Качественные характеристики биодизельного топлива регламентируются различными международными стандартами. В европейских странах действует стандарт EN14214, разработанный преимущественно для биодизеля на основе рапсового масла. В США применяется стандарт ASTM D-6751, ориентированный на биодизель из соевого масла [9].

При этом Российская Федерация обладает значительным потенциалом для развития биодизельной отрасли, располагая необходимыми сырьевыми ресурсами, квалифицированными кадрами, научно-технической базой и

производственной инфраструктурой [16].

Существенным шагом в развитии отечественной биотопливной индустрии стала разработка Национальной программы развития биотехнологий в Российской Федерации на период 2006-2015 годов, подготовленная обществом биотехнологов России. В рамках данной программы предусмотрен специализированный проект по биотопливу, предполагающий создание интегрированных производственных комплексов. Такие комплексы должны обеспечивать полный технологический цикл: от выращивания сырья (преимущественно рапса) до получения товарного биодизеля с организацией переработки побочных продуктов в кормовые добавки и строительные материалы.

В настоящее время типовой проект "Биодизель", направленный на организацию производства альтернативного моторного топлива на основе растительных масел, проходит стадию технико-экономической проработки в нескольких субъектах Российской Федерации, включая Пермскую и Тюменскую области [25].

«Практическое применение биодизеля в котельных установках вместо традиционного дизельного топлива сопровождается существенным сокращением выделения токсических отходов - снижается выделение углекислого газа на 80%, сажи и серы — до 50%. При сжигании биодизеля CO₂ возвращается в атмосферу, и для выращивания последующего сырья будет использоваться этот же газ» [11].

Вывод по первому разделу.

В данном разделе произведен анализ воздействия на примере производственной котельной на окружающую среду. Проведенное исследование демонстрирует, что внедрение биодизельного топлива в работу промышленных котельных открывает значительные возможности для сокращения экологической нагрузки. Производство биодизеля базируется на использовании различных видов растительных масел (рапсового, соевого, подсолнечного) и животных жиров. Особенность технологического процесса

заключается в применении биоразлагаемого и возобновляемого сырья, что само по себе способствует минимизации негативного влияния на экосистему. Использование биодизельного топлива вместо традиционного дизельного в системах котельного оборудования обеспечивает значительное снижение экологической нагрузки на атмосферу. В частности, при сжигании биодизеля существенно сокращается эмиссия оксидов азота и дисперсных частиц по сравнению с показателями обычного дизельного топлива. Данный эффект обусловлен двумя ключевыми факторами: более высокой степенью сгорания биодизеля и пониженным содержанием в нем серы. Дополнительным преимуществом биодизельного топлива является меньшая концентрация ароматических углеводородов в его составе, что также вносит вклад в минимизацию вредных атмосферных выбросов.

2 Возобновляемые технологии при обеспечении экологической безопасности организации

2.1 Современные ресурсовозобновляемые технологии

Экологическая безопасность (ЭБ) организации очень важна для каждого предприятия. При исследовании внедрения экологических инноваций, предварительно составлен анализ, существующих достоинств и недостатков.

«Ключевым событием в развитии концепции экологически ориентированной экономики стала международная конференция в Рио-де-Жанейро (июнь 2012 года), сфокусированная на вопросах формирования "зеленой экономики". В рамках данной концепции экологические инновации рассматриваются как основной инструмент трансформации экономической системы» [29]. Термин "зеленый рост" получает все более широкое распространение в политических, социальных и экономических документах, что отражает общую тенденцию экологизации различных сфер общественной жизни.

Профессор МГУ С.Н. Бобылев предложил дуалистическое понимание концепции "зеленого роста". «Широкий подход предполагает всеобъемлющую экологизацию экономической системы и социально-экономического развития в целом. Узкий подход концентрируется на развитии специализированных отраслей и видов деятельности, непосредственно связанных с экологизацией экономики и формированием "зеленых" рынков на глобальном и национальном уровнях» [5].

Экологические инновации, выступающие катализатором развития "зеленой экономики", формируют приоритетные направления инвестиционной активности. Интеграция экологических инноваций в различные сферы социально-экономической деятельности создает благоприятные условия для развития "зеленой экономики" и укрепления

промышленного потенциала.

«Согласно исследованиям ведущей консалтинговой компании McKinsey, значительное число предприятий рассматривает концепцию устойчивого развития бизнеса как перспективную долгосрочную модель. Данная концепция призвана сформировать комплексный подход к решению задач развития, управления инвестициями и рисками» [3].

Показательна позиция известного американского финансиста и инвестора Джорджа Сороса, который характеризует "зеленый бизнес" как движущую силу новой экономической модели, подчеркивая его определяющую роль в будущей трансформации экономической системы. Это свидетельствует о признании ключевой роли экологически ориентированного бизнеса в формировании устойчивой экономической модели будущего.

Исследование барьеров реализации экологических инновационных проектов в российской экономике демонстрирует ряд существенных ограничений, связанных с экономической эффективностью и сроками окупаемости инвестиций.

Статистические данные за 2019 год свидетельствуют о неравномерном распределении экологических инноваций в российской промышленности. Полную интеграцию инновационных решений осуществили 15,5% предприятий. Наиболее высокие показатели инновационной активности демонстрируют среднетехнологичные секторы с высоким уровнем воздействия на окружающую среду: производство кокса и нефтепродуктов (39%), металлургическая промышленность (35%) и химическое производство (34%). Отдельно следует отметить табачную промышленность, где уровень внедрения инноваций достиг 67%, что обусловлено необходимостью соответствия новым техническим регламентам [9].

Примечательно, что представители крупного бизнеса демонстрируют наименьшую заинтересованность в экологических инновациях. «Международный опыт показывает, что доля корпоративных затрат на исследования и разработки в общенациональных расходах на НИР в странах

ОЭСР достигает 70%. В России этот показатель существенно ниже - корпоративный сектор обеспечивает лишь 20% затрат на НИОКР. Удельные расходы российских компаний на исследования и разработки в 4-6 раз уступают зарубежным конкурентам. Показательно, что около 80% крупнейших российских предприятий избегают публичного раскрытия результатов инновационной деятельности» [19].

Ключевой проблемой является низкая мотивация хозяйствующих субъектов к финансированию природоохранных мероприятий, обусловленная *perceived* отсутствием прямой финансовой отдачи от экологических инноваций. Руководство предприятий рассматривает такие инновации как экономически нецелесообразные ввиду высоких инвестиционных затрат.

В контексте развития биодизельного производства современные ресурсозобновляемые технологии представляют собой комплекс инновационных решений, направленных на повышение производственной эффективности, улучшение качественных характеристик топлива и минимизацию экологического воздействия. Технологические инновации включают разработку высокоэффективных катализаторов, совершенствование методов сырьевой подготовки, оптимизацию процессов очистки продукции и внедрение современных систем очистки загрязнений.

Биодизельное топливо, являясь возобновляемым энергоносителем, производится из органического сырья растительного и животного происхождения. Технологический процесс основан на реакции трансэтерификации, в ходе которой исходное сырье (растительные масла или животные жиры) преобразуется в сложные эфиры при взаимодействии с метанолом в присутствии катализатора [4].

Биодизель часто рассматривается как более экологически чистая альтернатива нефтяному дизельному топливу, поскольку он может быть произведен из возобновляемых источников и обычно выделяет меньше парниковых газов при сжигании. Кроме того, биодизель может

способствовать уменьшению зависимости от нефти и содействовать развитию сельскохозяйственных отраслей через использование растительных масел в производстве [10].

В качестве примера, составим сравнительную характеристику видов топлива (в том числе жидкого, газообразного и твердого) для использования в котельных и представим ее в виде таблицы 5.

Таблица 5 – Сравнительная характеристика различных видов топлива

Характеристика топлива	Биодизель	Нефтяное топливо	Природный газ	Твердое топливо (уголь, древесина)
Источник	Растительные масла, животные жиры	Нефть	Природные газовые месторождения	Уголь, древесина и другие твердые природные материалы
Экологические характеристики	Меньше выброс парниковых газов, биоразлагаемый	Высокий уровень выбросов парниковых газов и других загрязнений	Считается одним из самых чистых видов горючего	Относительно высокий уровень выбросов вредных веществ
КПД	По сравнению с нефтяным дизелем может иметь слегка ниже КПД	Высокий	Очень высокий	Варьируется в зависимости от типа твердого топлива
Цена	Часто более дорогой по сравнению с нефтяным дизелем	Зависит от рыночных колебаний цен на нефть	Варьируется в зависимости от региона и условий добычи	Варьируется в зависимости от доступности и спроса

На основании таблицы 5 можно сделать следующие выводы о воздействии каждого вида топлива на окружающую среду.

Биодизель демонстрирует существенные экологические преимущества: сокращение выбросов парниковых газов и других вредных веществ в атмосферу. Особенно важно его свойство биологического разложения, что делает его использование экологически безопасным.

Традиционное нефтяное топливо характеризуется повышенной эмиссией парниковых газов и загрязняющих веществ. Его применение связано с заметным ущербом для окружающей среды как на этапе производства, так и при использовании.

Природный газ выделяется среди других энергоносителей своей экологичностью. При его сжигании выделяется минимальное количество вредных веществ, что делает его одним из самых чистых видов топлива.

Твердые виды топлива, включая уголь и древесину, при сгорании выделяют значительное количество вредных веществ. Их использование может привести к серьезному загрязнению окружающей среды токсичными компонентами.

Таким образом, с точки зрения воздействия на окружающую среду, биодизель и природный газ обычно рассматриваются как более экологически чистые виды топлива по сравнению с нефтяным дизелем и твердым топливом.

Благодаря гибкости пропорций смешивания, операторы котельных имеют возможность постепенно адаптировать процентное содержание биодизеля в топливной смеси в зависимости от доступности и цен на биодизель, а также от регулятивных требований и экологических стандартов.

Поскольку биодизель совместим с уже существующими системами подачи топлива, минимальные технические изменения или модификации могут потребоваться для начала использования биодизеля в котельной системе.

Гибкость в пропорциях смешивания позволяет подстраивать использование биодизеля под текущий спрос и цены на топливо, что может повысить экономическую эффективность его использования в котельных.

Таким образом, свойство совместимости биодизеля с обычным дизелем обуславливает его относительную легкость внедрения в уже существующие системы отопления, что является важным фактором при рассмотрении его использования в котельных и других системах отопления.

Экологическая чистота биодизеля относительно нефтяного дизеля является важным моментом при обсуждении его применения в качестве топлива для котельных. Биодизель, получаемый из растительных масел или животных жиров, имеет потенциал существенно снизить выбросы парниковых газов и других загрязнений окружающей среды по сравнению с нефтяным дизелем при сжигании.

Биодизель обладает свойством биоразлагаемости, что означает, что он разлагается естественным образом после выхода из употребления, в отличие от нефтяного дизеля, что также способствует снижению вредного воздействия на окружающую среду.

Для достижения максимальной экологической эффективности необходимо использовать сертифицированный биодизель, соответствующий стандартам качества топлива и безопасности.

Таким образом, экологическая чистота биодизеля делает его привлекательным вариантом для использования в котельных системах, так как он способствует снижению загрязнений окружающей среды и улучшению экологического следа котельной.

Высокие технико-экономические показатели биодизеля, а также его экологические преимущества, являются ключевыми факторами, обуславливающими постоянный рост числа государственных программ в различных странах. Эти программы могут иметь как обязывающий и декларативный характер, так и стимулировать увеличение объемов производства и потребления биодизеля. Биодизель обладает высокими технико-экономическими показателями, такими как эффективность сжигания, совместимость с существующими системами и относительная легкость интеграции в существующую инфраструктуру. Это делает его привлекательным для использования в качестве альтернативного топлива.

Множество стран ввели государственные программы, направленные на поддержку производства и использования биодизеля, включая налоговые льготы, субсидии, обязательные квоты на использование биодизеля в

топливной смеси и другие стимулы. Однако производство и использование биодизеля также имеют определенные сложности. Например, одна из основных сложностей связана с хранением биодизеля, так как он может быть более подвержен окислению и образованию осадков по сравнению с обычным дизелем.

В целом, несмотря на некоторые сложности, применение биодизеля продолжает расти благодаря своим технико-экономическим показателям и экологическим преимуществам, что приводит к поддержке со стороны государств и увеличению объемов его производства и потребления.

2.2 Внедрение ресурсозобновляемых технологий в организации

При внедрении биодизельного топлива в действующих котельных установках не возникает необходимости в полной модернизации основного оборудования и масштабной реконструкции. Приоритетным направлением является модификация или замена горелочных устройств, что не только обеспечивает совместимость с новым видом топлива, но и способствует повышению эффективности его использования, приводя к снижению общего объема выбросов котельной.

В современной теплоэнергетической отрасли используется широкий спектр горелочных устройств, различающихся по своим техническим характеристикам и конструктивному исполнению. При классификации данного оборудования учитывается комплекс технологических параметров, включающий методологию организации топливно-воздушной смеси, принципы формирования потоков, особенности подачи компонентов горения, энергетическую производительность установок, совместимость с различными видами топлива и специфические условия эксплуатации.

В основу технической систематизации горелочных устройств положен принцип организации аэродинамических потоков в камере сгорания. Базовая классификация выделяет две фундаментальные категории: устройства с

прямолинейным движением рабочей среды и системы с закрученными потоками. При этом в завихренных конструкциях возможно формирование двух типов факела: концентрированного замкнутого или разомкнутого с характерным образованием центральной рециркуляционной зоны, обеспечивающей возврат части продуктов сгорания в корневую область факела.

Существенное значение в конструктивном исполнении горелочных устройств имеет пространственная организация системы топливоподачи. Современные технические решения реализуют три основные схемы: центральное расположение топливных форсунок, периферийную систему распределения топлива, а также гибридную компоновку, сочетающую элементы обоих подходов.

Конструктивное разнообразие горелочных устройств также включает различные системы стабилизации пламени, механизмы регулирования соотношения топливо-воздух, элементы автоматизации процесса горения и системы безопасности. Каждый тип горелок имеет свои специфические характеристики тепловой напряженности, коэффициента избытка воздуха и диапазона регулирования мощности.

Важным аспектом классификации выступает возможность управления параметрами пламени, включая его протяжённость и интенсивность закручивания. При этом промышленные котельные установки большой мощности, как правило, оснащаются горелками с возможностью регулирования соотношения воздух-топливо.

В классификации горелочных устройств особое место занимает температурная подготовка окислителя. Современные технические решения предусматривают два принципиально различных подхода к организации воздушного потока: прямую подачу атмосферного воздуха от нагнетательного оборудования и использование предварительно подогретого воздуха, температурная обработка которого осуществляется в специализированных теплообменных аппаратах. При этом системы

воздухоподогрева могут быть реализованы как в виде трубчатых рекуператоров, так и в форме регенеративных теплообменников, обеспечивающих эффективную утилизацию теплоты отходящих газов.

В контексте технологического совершенства и степени интеграции автоматизированных систем управления современные горелочные устройства демонстрируют значительное разнообразие. Высшую ступень автоматизации представляют полностью автономные системы, функционирование которых осуществляется посредством единого управляющего воздействия, что максимально упрощает эксплуатацию оборудования. На противоположном конце спектра находятся установки с преобладанием ручного управления, требующие от оператора четкого соблюдения технологической дисциплины и выполнения регламентированной последовательности действий. Промежуточное положение занимают полуавтоматические системы, в которых рационально сочетаются элементы автоматического регулирования с возможностью ручной корректировки параметров работы, что обеспечивает необходимую гибкость управления при сохранении высокого уровня безопасности эксплуатации [22].

Определяющим фактором в классификации и выборе горелочных устройств выступает вид применяемого топливного ресурса. В области децентрализованного теплоснабжения и локальных теплогенерирующих установок наибольшее распространение получили горелочные системы, работающие на природном газе и дизельном топливе. Для промышленных энергетических объектов большой и средней мощности характерно использование горелочных устройств, адаптированных под сжигание мазута, а также универсальных конструкций, обеспечивающих возможность оперативного перехода между различными видами топлива в зависимости от эксплуатационных условий.

Оптимизация процесса горения требует обеспечения рационального соотношения между поверхностью контакта топливной фазы и объемом

окислительной среды. Данный параметр находится в прямой зависимости от качества топливоподготовки, определяемого степенью измельчения топливных частиц и характером их пространственного распределения в воздушном потоке. Достижение высоких показателей эффективности сжигания топлива возможно только при обеспечении требуемого уровня дисперсности топливной фазы.

Технологический процесс диспергирования топлива основан на физических принципах дробления сплошного топливного потока на мелкодисперсные капли путем преодоления межмолекулярных сил сцепления и поверхностного натяжения жидкости. Современное теплоэнергетическое оборудование использует широкий спектр технологических решений для обеспечения эффективного распыления топлива, включая механические, пневматические, ротационные и комбинированные системы диспергирования, каждая из которых имеет свои особенности и области оптимального применения.

В современной теплоэнергетической практике реализуются различные технологические подходы к диспергированию жидкого топлива. Метод пневматического распыления базируется на использовании энергетического потенциала компримированного воздуха или водяного пара, а также может осуществляться посредством направленного воздушного потока от специализированного нагнетательного оборудования. Механические системы диспергирования реализуют принцип центробежного распыления, при котором дробление топливного потока происходит за счет создания интенсивного вращательного движения в каналах форсунки. В ротационных распылительных устройствах формируется тончайшая коническая топливная пленка. Отдельного внимания заслуживают технические решения, основанные на предварительной газификации топливной массы или её распределении равномерным слоем по внутренней поверхности корпусных элементов горелки.

Технологический прогресс в области топливоподготовки привел к

созданию инновационных систем распыления, использующих комплексный подход к диспергированию. Такие установки могут одновременно задействовать несколько физических принципов дробления топлива, включая ультразвуковое воздействие и электростатическую обработку топливного потока. Существенный прорыв достигнут в разработке интеллектуальных систем распыления, способных осуществлять автоматическую корректировку рабочих параметров в зависимости от физико-химических характеристик топлива и текущего эксплуатационного режима энергетической установки.

В авангарде технологического развития находятся горелочные устройства нового поколения, оснащенные передовыми системами мониторинга качества распыления. Такие установки интегрируют высокоточные оптические датчики, позволяющие производить измерение гранулометрического состава топливного аэрозоля, а также включают комплексные системы обратной связи, обеспечивающие динамическую оптимизацию процесса смесеобразования с учетом текущих параметров работы оборудования.

Механические и ротационные форсунки, несмотря на эффективность, имеют свои ограничения: первые требуют сложной кинематической системы, вторые нуждаются в высоконапорном топливном насосе и тщательной фильтрации топлива [22].

Важно отметить, что описанные методы распыления эффективно работают при расходах топлива, превышающих 5-10 кг/ч.

В контексте современной теплогенерации мазутное топливо представляет собой уникальный энергетический ресурс для промышленных котельных установок. Однако его применение сопряжено с определенной технологической дихотомией: с одной стороны, мазут привлекателен своими экономическими показателями, включая относительно низкую стоимость и высокий энергетический потенциал, с другой – его использование сопровождается комплексом технических сложностей, обусловленных вариативностью химического состава и значительной вязкостью топлива, что

существенно усложняет эксплуатацию топливоподающих систем.

Организация эффективного диспергирования мазута в современных форсуночных устройствах требует обеспечения существенного градиента давления в системе топливоподдачи. Реализация данного технологического требования влечет за собой целый ряд инженерно-технических последствий: возникает необходимость увеличения геометрических параметров форсуночных устройств и сопутствующей запорно-регулирующей аппаратуры, требуется повышение энергетической мощности насосного оборудования, обеспечивающего подачу топлива в распылительные системы.

Одним из перспективных направлений оптимизации процесса топливоподготовки является предварительная термическая обработка мазута. При этом оптимальные параметры температурного режима подготовки топлива определяются на основе комплексного анализа характеристик конкретной марки мазута и конструктивных особенностей применяемого распылительного оборудования. В частности, практический опыт эксплуатации показывает, что для обеспечения качественного распыления высоковязкого мазута марки М100 (в соответствии с требованиями ГОСТ 10585-2013) через стандартные гидравлические форсунки необходимо осуществлять предварительный нагрев топлива до температуры порядка 140 градусов Цельсия, что обеспечивает оптимальные показатели вязкости и, как следствие, требуемое качество распыления [6].

Однако следует отметить, что даже при оптимизации давления и температуры мазута перед форсункой остаются нерешенными проблемы неравномерности размеров образующихся капель и их неоднородного распределения в зоне горения. Более того, процесс горения мазутных капель в воздушной среде, являясь по своей природе гетерогенным, характеризуется ограниченной площадью контакта топлива с окислителем, что негативно влияет на полноту сгорания.

Дополнительным фактором, снижающим эффективность процесса горения, является относительно низкая температура дутьевого воздуха,

подаваемого в зону распыления. Согласно нормативным требованиям, температура воздуха составляет около 30°C, что существенно замедляет процесс испарения капель распыленного мазута и приводит к охлаждению топливного факела. Это обстоятельство негативно влияет на стабильность и эффективность процесса горения в целом.

Существующая конструкция горелки с единым нерегулируемым воздушным потоком демонстрирует недостаточную эффективность в процессе смесеобразования. Особенно это проявляется при разделении воздушного потока на первичный и вторичный в дисковом радиальном завихрителе, что приводит к нестабильности факела на выходе из патрубка горелочного устройства.

Критическим техническим параметром выступает пропорция проходных сечений: совокупная площадь сечений рециркуляционных газопроводов должна находиться в диапазоне 15-20% от сечения первичного воздушного канала. Для управления газовым потоком газопроводы следует оборудовать регулировочной арматурой, включая газовые клапаны. В зонах пересечения газопровода с каналом вторичного воздуха необходимо обеспечить аэродинамически оптимальную форму конструкции. Конструктивное исполнение мазутной горелки с интегрированной системой рециркуляционных газопроводов иллюстрируется на рисунке 6 и 7 в горизонтальной и боковой проекциях.

Интеграция рециркуляционных газопроводов между каналом первичного воздуха и топочной камерой создает условия для смешивания нагретых отработанных газов с первичным воздушным потоком. Данное инженерное решение способствует существенному повышению температурного режима воздушной смеси в зоне топливного распыления непосредственно за форсункой.

Техническая комбинация, состоящая из кольцевого эжекционного элемента в месте соединения первичного воздушного канала с рециркуляционными трактами и установленных далее радиальных

ламинаризирующих лопаток, рационализирует циркуляцию возвратных газовых потоков. Такое конструктивное решение интенсифицирует обратное движение топочных газов к горелочному устью, обеспечивая стабильность воспламенения и равномерность температурного распределения в факеле при его проникновении в топочный объем.

При соблюдении рекомендуемых конструктивных параметров, в частности, поддержании оптимального соотношения площадей сечений рециркуляционных трактов и канала первичного воздуха в диапазоне 15-20%, достигается существенное повышение температурного уровня воздушно-газовой смеси в зоне перед завихрительным устройством. Температура смеси в этой области достигает 170-190 градусов Цельсия, что создает оптимальные термодинамические условия для эффективного сжигания топлива и обеспечивает высокую стабильность процесса горения. Такой температурный режим способствует интенсификации тепломассообменных процессов и повышению общей эффективности работы горелочного устройства.

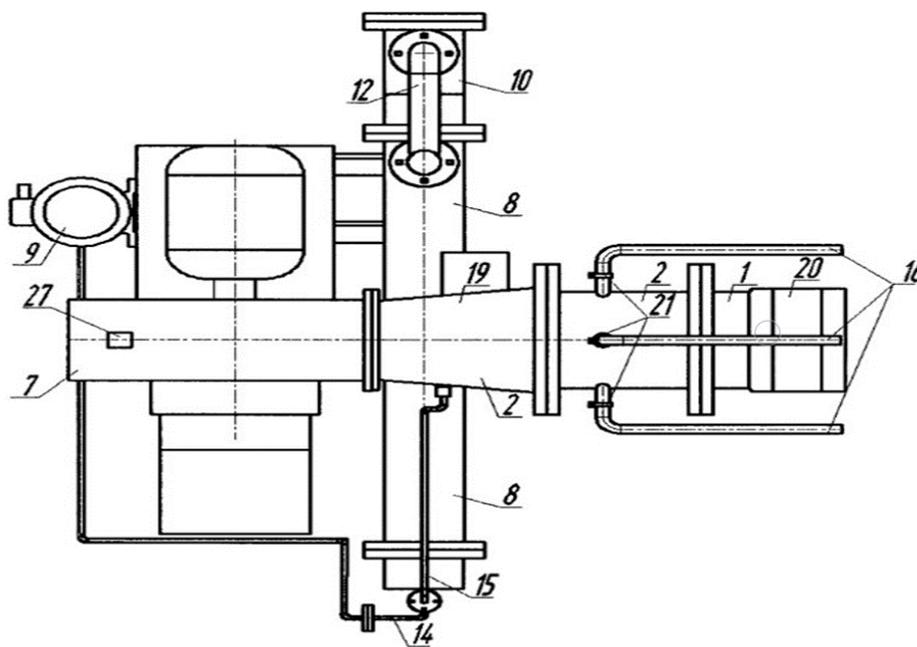


Рисунок 6 – Общий вид мазутной горелки сверху [28]

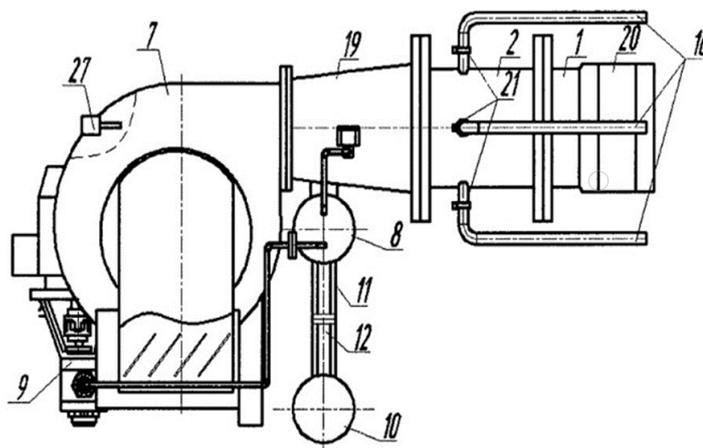


Рисунок 7 – Общий вид мазутной горелки сбоку [28]

Установка регулировочной арматуры на рециркуляционных газопроводах обеспечивает возможность точной настройки объема возвращаемых газов, что позволяет осуществлять гибкое управление температурным режимом первичного воздушного потока. Конструктивные особенности данного решения детально представлены на поперечном разрезе горелки, изображенном на рисунке 8.

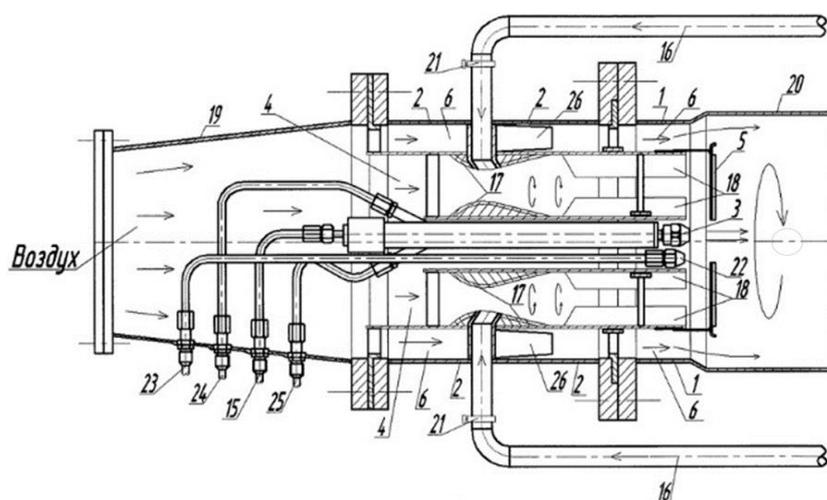


Рисунок 8 – Поперечный разрез горелки

Разработанная модификация форсуночного устройства представляет собой инновационное техническое решение, направленное на повышение эффективности процессов диспергирования и сжигания мазутного топлива.

Инженерная конструкция характеризуется следующими конструктивными особенностями и техническими решениями:

Основу конструктивного исполнения составляет цилиндрический корпусной элемент с интегрированным коническим днищем расширяющейся геометрии, который закрепляется на внешнем контуре топливоподающей магистрали. Распылительный узел включает комплекс периферийных распылительных отверстий и центральный распределительный канал, защищенный термостойкой гильзой, выступающей в зону горения.

Центральная часть термозащитной гильзы содержит топливопроводящий элемент, один конец которого интегрирован в систему топливоподачи. На противоположном конце размещен подпружиненный клапанный механизм с системой распределительных отверстий. Упругий элемент клапана опирается на внутреннюю поверхность торцевого элемента гильзы. Техническое решение предусматривает наличие кольцевого канала между топливопроводящим элементом и термозащитной гильзой, сообщающегося с внутренним пространством основного корпуса.

Монтажное положение форсунки определяется центральной осью горелочного устройства, в конструкции которого предусмотрены концентрические воздушные каналы, обеспечивающие организацию первичных и вторичных воздушных потоков. Интеграция форсуночного узла осуществляется через монтажное отверстие в фронтальной части топочного устройства, обеспечивая оптимальное позиционирование распылительного элемента относительно зоны горения.

«Работа форсунки происходит следующим образом: Мазут, предварительно разогретый до точки кипения в пусковом нагревателе, проходя через периферийные отверстия, смешивается с поступающим по специальному каналу первичным воздухом. После включения системы зажигания происходит воспламенение полученной смеси. Подача вторичного воздуха обеспечивает образование стабильного пламени, температура которого превышает 1000°C и которое обтекает наружную поверхность

термической гильзы» [17].

Параллельно с этим организуется подача мазута через систему "топливоподающая трубка - выпускная трубка". При работе на малых нагрузках, когда клапан закрыт, топливо проходит через перфорации клапана. При повышенных нагрузках, когда клапан открыт, дополнительно используется щелевой зазор между торцом трубки и клапаном, после чего топливо поступает в циркуляционный канал.

Критическим параметром процесса является продолжительность теплового воздействия на мазут в циркуляционном канале. Для предотвращения избыточного коксообразования необходимо тщательно контролировать время пребывания топлива в зоне высоких температур. Это достигается путем регулирования двух ключевых параметров: температурного режима и скорости движения мазута в циркуляционном канале.

Такая организация процесса обеспечивает эффективное термическое разложение тяжелых фракций мазута, что способствует более полному и качественному сгоранию топлива. При этом конструкция форсунки (рисунок 9 и 10) позволяет осуществлять точное регулирование параметров процесса для достижения оптимального режима работы и минимизации образования коксовых отложений.

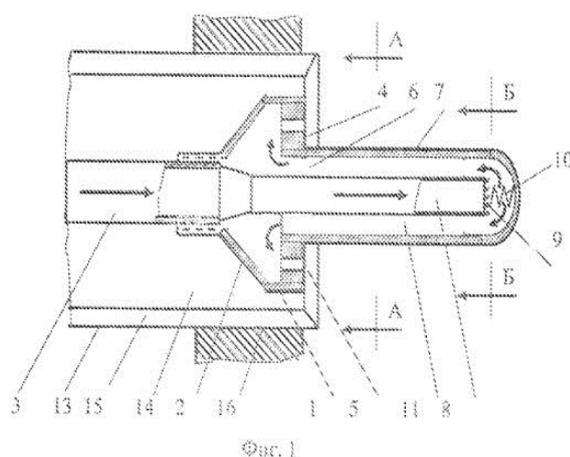


Рисунок 9 – Общий вид форсунки

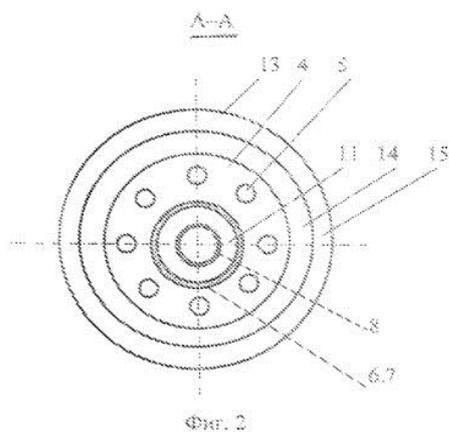


Рисунок 10 – Форсунка в разрезе

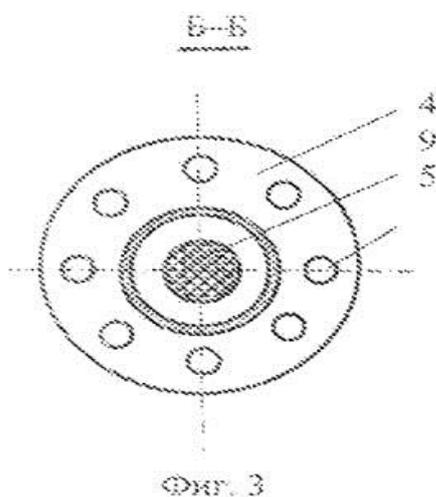


Рисунок 11 – Форсунка

Конструктивное исполнение форсунки в поперечном разрезе представлено на рисунке 11

В процессе работы форсунки образующиеся коксовые частицы эффективно транспортируются высокоскоростным потоком деструктированного мазута. В зоне горения происходит одновременное сжигание парогазожидкостной фазы топлива и увлекаемых ею коксовых частиц.

«Благодаря пониженному содержанию тяжелых углеводородов и более гомогенному составу деструктированного мазута по сравнению с исходным топливом, процесс испарения и последующего сгорания протекает

значительно интенсивнее. Это приводит к существенному снижению потерь от химического и механического недожога топлива» [22].

Система обеспечивает автоматическое регулирование температурного режима крекинга в зависимости от расхода топлива:

- при пониженных расходах мазута наблюдается снижение скорости его движения в циркуляционном канале. Одновременно происходит естественное удаление границ факела от нагревательной гильзы, что приводит к уменьшению интенсивности теплопередачи и, соответственно, количества тепла, воспринимаемого топливом.
- при повышенных расходах наблюдается обратный эффект: увеличение скорости потока сопровождается приближением границ факела к поверхности гильзы, что интенсифицирует процесс теплопередачи.

Инновационный модельный ряд горелочных устройств, включающий модификации РГМГ-10, РГМГ-20 и РГМГ-30, представляет собой современное техническое решение для теплоэнергетического оборудования. Данные агрегаты специально спроектированы для интеграции с водогрейными котлами серии КВ-ГМ, охватывающими широкий диапазон тепловой производительности – от 11,63 до 116,3 мегаватт. Отличительной особенностью этих горелочных устройств является их универсальность в отношении используемого топлива: инженерное исполнение предусматривает возможность эффективного сжигания как газообразного (природный газ), так и жидкого топлива.

Технические характеристики и конструктивные особенности данной серии горелок обеспечивают исключительную гибкость в их применении. При соответствующем согласовании с заводом-изготовителем существует возможность расширения сферы их использования – помимо водогрейных котлов, они могут быть успешно интегрированы в паровые котельные установки и промышленные печи, при условии соответствия геометрических параметров топочного пространства и теплотехнических показателей. Важным преимуществом этих горелочных устройств является их

способность стабильно функционировать в различных режимах давления топочной среды: они одинаково эффективно работают как при повышенном давлении (с возможностью достижения значений до 2000 Па), так и в условиях разрежения в топочной камере.

Оборудование спроектировано для эксплуатации в регионах с умеренным и холодным климатом, соответствуя климатическому исполнению УХЛ 4.2 согласно ГОСТ 15150-69. Гарантированный эксплуатационный ресурс до капитального ремонта составляет не менее 18000 часов, за исключением быстроизнашивающихся элементов и компонентов системы автоматики.

Я помогу переформулировать этот текст о системе маркировки и технических характеристиках горелок, представив информацию в более структурированном и развернутом виде:

Проектный срок эксплуатации горелочного устройства составляет 20 лет. Маркировка оборудования осуществляется посредством буквенно-цифровой системы обозначений, где каждый символ несет определенную информационную нагрузку:

В буквенной части маркировки содержится информация о конструктивных особенностях:

- "Р" указывает на ротационный тип конструкции
- "ГМ" обозначает возможность работы как на газовом, так и на жидком (мазутном) топливе
- "Г" идентифицирует устройство как горелку
- "П" или "Л" определяют направление вращения (правое или левое соответственно)
- "Д" свидетельствует о наличии удлиненной газовой части

Цифровой индекс в маркировке соответствует номинальной теплопроизводительности котла, для которого изначально проектировалось устройство, выраженной в гигакалориях в час.

Различные модели горелок комплектуются соответствующими

форсунками:

- РГМГ-10 оснащается ФМР-1300.
- РГМГ-20 комплектуется ФМР-2500.
- РГМГ-30 использует ФМР-3800.

В маркировке форсунок:

- "Ф" обозначает форсунку.
- "М" указывает на применение мазута.
- "Р" свидетельствует о ротационном принципе действия Числовое значение отражает округленный номинальный расход мазута в килограммах в час.

«Оборудование рассчитано на работу с мазутом марки М-40, однако допускается использование альтернативных видов жидкого топлива: печного, дизельного, солярового масла и сырой нефти. При этом следует учитывать, что фактические параметры расхода и давления могут отличаться от паспортных значений. Диапазон регулирования производительности составляет 20-100% от номинальной мощности. Горелка РГМГ-20 с номинальной тепловой мощностью 31,6 МВт может эффективно использоваться на котлах серии КВ-ГМ повышенной мощности (58,2-150, 58,2-150С, 116,3-150С) при соответствующем увеличении давления топлива и воздуха» [17].

Таблица 6 – Параметры горелок РГМГ

Параметр	Ед. изм.	Значение		
		РГМГ -10	РГМГ -20	РГМГ -30
Номинальная тепловая мощность	МВт	12,9	25,9 (31,6)*	38,9
Коэффициент регулирования, не менее		5	5	5
Кинематическая вязкость мазута, не более	м ² /с	16x10-6	16x10-6	16x10-6
Номинальное давление мазута перед горелкой	кПа	27,4	156,8 (240,0)*	197

Продолжение таблицы 6

Параметр	Ед. изм.	Значение		
		РГМГ -10	РГМГ -20	РГМГ -30
Номинальное давление первичного воздуха (в коробе первичного воздуха)	Па	5840	5680	6370
Номинальное давление газа перед горелкой	Па	18620	33320 (56000)*	40180
Содержание окиси углерода в сухих дымовых газах в диапазоне рабочего регулирования, не более	%	0,03		
Температура газа перед горелкой	°С	0-30		
Температура воздуха перед горелкой	°С	10-30		
Габаритные размеры горелки, не более				
Длина	мм	1290	1446	1446
Ширина	мм	1200	1315	1460
Высота	мм	1432	1683	1765

Установка горелочных устройств на котельные агрегаты, не входящие в стандартный перечень совместимого оборудования, требует обязательного согласования с ЦКТИ и предприятием-изготовителем. Оптимальные условия эксплуатации предполагают поддержание разрежения в топочном пространстве на уровне 20 Па.

Система подачи воздуха имеет существенные различия при работе на разных видах топлива:

- при использовании жидкого топлива необходима подача как первичного, так и вторичного воздуха.
- при работе на газообразном топливе задействуется только вторичный воздух.

Подача вторичного воздуха осуществляется через специальный воздуховод, конструктивно интегрированный в котельный агрегат. Одна из стенок этого воздуховода формируется наружной поверхностью фронтального

экрана котла. Важной особенностью является противоположное направление вращения воздушных потоков относительно вращения форсунки.

При эксплуатации горелок типа РГМГ всех модификаций необходимо учитывать ряд специфических особенностей:

- повышенный уровень шума.
- наличие вибрации форсуночного устройства.
- возможность нарушения симметрии факела.
- склонность к образованию нагара.

В процессе сжигания топлива наблюдается комплексное взаимодействие различных фазовых состояний вещества. Динамика горения характеризуется переносом твердых коксовых включений из области термического разложения в зону активного горения посредством топливного потока. Существенной особенностью является то, что парогазожидкостные составляющие топливной смеси, несущие на своей поверхности коксовые частицы, демонстрируют более высокую степень гомогенности по сравнению с первоначальным составом мазута. Данное свойство обеспечивает ускоренную vaporization и эффективное окисление как парогазовой фазы, так и коксовых включений, что существенно снижает потери энергии, связанные с химическим и механическим недожогом топлива.

Интегрированная система автоматического управления реализует адаптивную оптимизацию процесса горения в соответствии с текущими эксплуатационными параметрами.

В условиях пониженной топливной нагрузки наблюдается соответствующее уменьшение скорости циркуляции топлива в контуре теплообмена, что приводит к снижению интенсивности теплопередачи между нагревательной гильзой и топливным потоком. Как следствие, происходит пропорциональное уменьшение количества тепловой энергии, аккумулируемой топливной массой.

При работе в режиме повышенного расхода топлива отмечается увеличение скоростных характеристик потока, что сопровождается

интенсификацией процессов теплообмена и, соответственно, возрастанием объема тепловой энергии, поглощаемой топливом. Такая саморегулирующаяся система обеспечивает оптимальные параметры предварительной термической подготовки топлива во всем диапазоне эксплуатационных режимов.

Такая система регулирования обеспечивает адаптивную оптимизацию процесса горения в соответствии с текущими эксплуатационными параметрами и расходными характеристиками топлива, что способствует поддержанию высокой эффективности работы горелочного устройства в различных режимах.

Данная горелка может быть потенциально применима для сжигания биодизеля по следующим обоснованиям:

- регулирование мощности горелки. Поскольку биодизель имеет свои технические особенности, такие как различный вязкости и плотности по сравнению с обычным дизельным топливом, важно иметь возможность регулировать мощность горелки в соответствии с этими характеристиками. Описанный механизм изменения мощности горелки может быть адаптирован для учета особенностей сжигания биодизеля.
- температурный контроль. Как и в случае с деструктурированным мазутом, биодизель требует определенной температуры для эффективного сжигания. Автоматическое регулирование процесса нагрева топлива до необходимой температуры, в зависимости от его расхода, является важным элементом для обеспечения оптимальных условий сжигания биодизеля.
- эффективное сжигание: Описание работы горелки подчеркивает важность эффективного сжигания топлива. Биодизель, как и деструктурированный мазут, имеет свои особенности при сжигании, и способность данной горелки уменьшать потери от неполноты сгорания может быть ценной при использовании биодизеля.

- гибкость в регулировании. Механизм регулирования горелки подразумевает гибкость в соответствии с изменяющимися условиями и расходом топлива. Это важно при работе с биодизелем, у которого могут быть колебания в качестве и характеристиках в зависимости от источника сырья.

Учитывая вышеперечисленные факторы, можно предположить, что данная горелка, при наличии соответствующих адаптаций и испытаний, может быть применима для сжигания биодизеля. Однако перед фактическим использованием ее с биодизелем, необходимо провести дополнительные технические оценки.

В разработанной конструкции форсуночного устройства реализован принцип предварительной термической обработки мазута непосредственно в процессе его подготовки к сжиганию. Данное техническое решение обеспечивает деструкцию высокомолекулярных углеводородных соединений еще на стадии топливоподготовки, что существенно повышает эффективность последующего процесса горения в активной зоне факела. В результате достигается комплексный положительный эффект: минимизируются потери энергии, связанные с механическим и химическим недожогом топлива, одновременно снижается экологическая нагрузка за счет сокращения эмиссии несгоревших компонентов в окружающую среду.

При проектировании теплогенерирующих установок существенное значение имеет их географическое расположение относительно источников топливного снабжения. В частности, размещение котельного оборудования в непосредственной близости от объектов нефтедобычи и нефтепереработки создает благоприятные экономические предпосылки для использования сырой нефти в качестве основного жидкого топлива, что позволяет оптимизировать логистические издержки и снизить себестоимость производства тепловой энергии.

Система топливоподдачи представляет собой комплекс технологического оборудования, обеспечивающий прецизионное

дозирование и транспортировку расчетного количества топлива к распылительным устройствам при поддержании заданных параметров рабочего давления. В состав топливоподающего узла входят: насосный агрегат с электрическим приводом, разветвленная сеть топливопроводов, комплект электромагнитных регулирующих клапанов и контрольно-измерительные приборы, включая электроконтактный манометр, осуществляющий непрерывный мониторинг давления в системе топливоподдачи.

Подача топлива осуществляется через систему предварительной механической очистки с помощью насоса, который конструктивно объединен с валом электродвигателя вентилятора. Система регулирования тепловой мощности реализована на основе позиционного принципа управления. Конструкция предусматривает оснащение каждой форсунки индивидуальным запорным клапаном, что позволяет осуществлять ступенчатое регулирование мощности путем последовательного включения или отключения отдельных форсунок. Такое техническое решение обеспечивает точную настройку тепловой производительности устройства в соответствии с текущими эксплуатационными требованиями.

Горелочный блок представлен на рисунке 12.

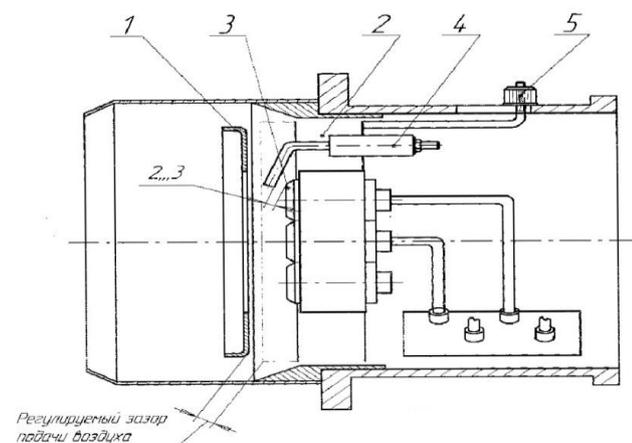


Рисунок 12 – Горелочный блок

Конструктивной основой горелочного устройства выступает вентиляторный корпус, интегрирующий в себе комплекс ключевых компонентов. В его конструкции предусмотрено размещение электропривода вентиляционной системы, фотоэлектрического датчика для мониторинга пламени, распределительной коробки с системой разъемов, воспламеняющего механизма, датчика контроля давления воздушного потока, системы топливной запорной арматуры, входного воздушного отсека с насосной установкой для топлива и манометра с электрическими контактами. Для обеспечения визуального контроля процесса горения конструкция дополнена специальным обзорным элементом. Детальная схема с указанием монтажных и габаритных параметров горелки типа ЖБЛ-0,85 представлена на рисунке 13.

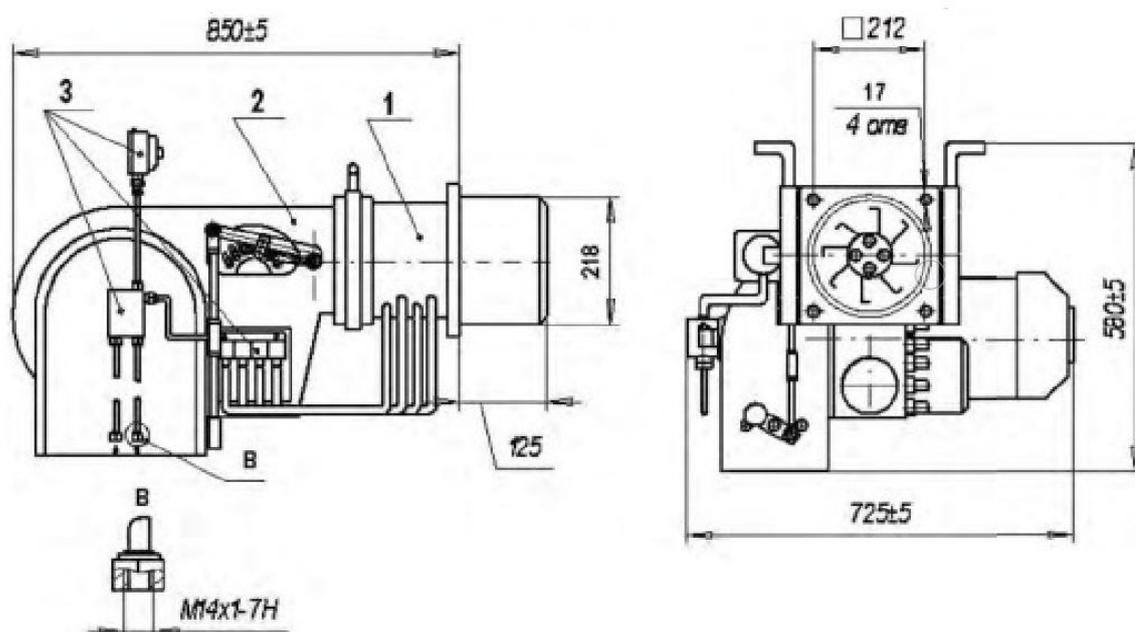


Рисунок 13 – Габаритные размеры горелки ЖБЛ-0,85

Управление рабочим циклом горелочного устройства осуществляется оператором посредством командных кнопок на панели автоматизированного управления. Инициация рабочего процесса включает последовательность операций: вентиляция топочного пространства и дымовых каналов,

автоматическую процедуру розжига с последующим выходом на четверть номинальной мощности. Подача воздуха, необходимого для процесса горения, обеспечивается вентиляционной системой.

Процесс воспламенения в горелочном устройстве инициируется посредством электрического разряда между электродами запального механизма. Система управления, получив сигнал от фотодатчика о наличии устойчивого факела, обеспечивает фиксацию электромагнитного клапана в открытом положении, поддерживая непрерывную подачу топлива. В случае отсутствия воспламенения или нестабильного горения автоматика безопасности мгновенно прекращает топливоподачу, предотвращая аварийные ситуации.

Регулирование мощности горелочного устройства осуществляется в автоматизированном режиме посредством комплексной системы контроля. Основными элементами данной системы выступают термочувствительные датчики, отслеживающие параметры теплоносителя, а также датчики, контролирующие давление пара в системе. Информация с этих измерительных устройств поступает в систему управления, которая активирует сервомеханизм. Последний, используя специально разработанную рычажную конструкцию, производит точную корректировку положения воздушных заслонок, оптимизируя процесс горения. Для обеспечения точного контроля текущего положения регулирующих элементов на валу сервопривода установлен специальный кулачковый механизм, взаимодействующий с контактной группой. Эта система позволяет в реальном времени отслеживать и корректировать параметры работы горелки, обеспечивая оптимальный режим её функционирования.

Эффективность процесса сгорания обеспечивается изменением воздушного потока путем корректировки положения воздушных заслонок. При остановке горелки происходит автоматическое перекрытие клапанов, а вентиляционная система продолжает работать до полного удаления продуктов сгорания из топочной камеры и газоходов.

«Горелки CIB UNIGAS KRBY512 MH.PR.S.RU.A.1.50.EC. Горелка комбинированная газомазутная серии CINQUECENTO, прогрессивная, с пневматическим распылением топлива и электронным управлением. У горелок с пневматическим распылением топлива с помощью сжатого воздуха или пара имеется возможность сжигания топлива с вязкостью свыше 1.500 сСт при 50 °С» [18].

Эта серия горелок выпускается также в комбинированном исполнении.

Горелка CIB UNIGAS KRBY512 MH.PR.S.RU.A.1.50.EC представлена на рисунке 14.

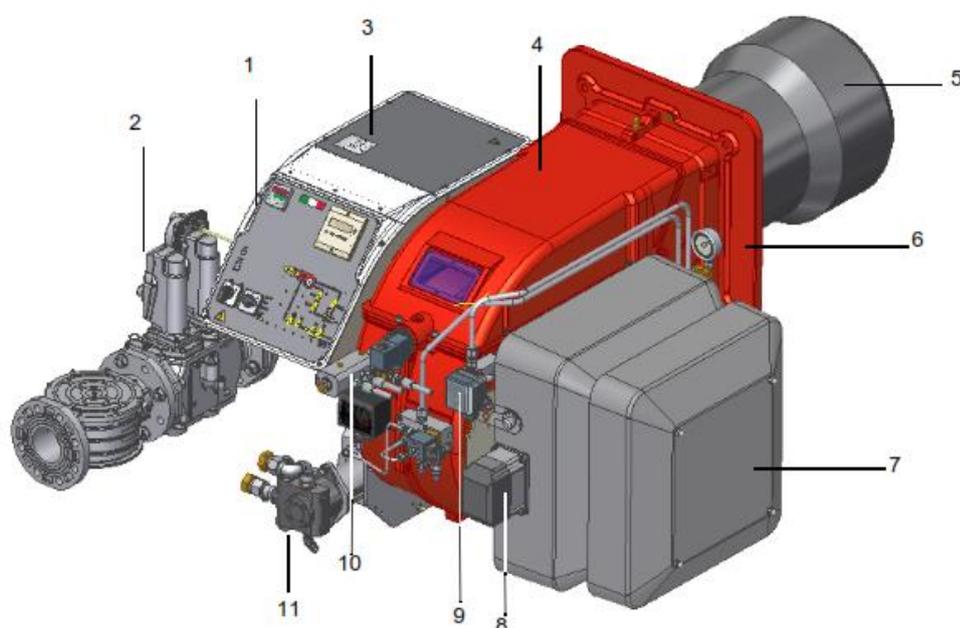


Рисунок 14 – Горелка CIB UNIGAS KRBY512 MH.PR.S.RU.A.1.50.EC

Данная горелка включает в себя следующие узлы:

- панель с мнемосхемой с пусковым включателем (1);
- газовой рампы (2);
- электрический щит (3);
- крышка (4);
- сопло и голова сгорания (5);
- фланец (6);

- глушитель (7);
- сервопривод (8);
- реле давления воздуха (9);
- распределитель дизтоплива (10);
- насоса (11).

Операционный цикл горелочного устройства на жидком топливе реализуется следующим образом: топливо из распределительной системы поступает на насосный агрегат, откуда под давлением подается на форсуночное устройство. После распыления топлива в камере сгорания происходит его смешение с воздушным потоком, что приводит к формированию устойчивого факела пламени.

Эффективность термохимического процесса и экологические показатели горения в значительной степени определяются качеством смешения топлива с окислителем. Для достижения оптимальных параметров процесса осуществляется тонкодисперсное распыление жидкого топлива посредством его подачи через форсуночные устройства при высоком давлении.

Насосная система выполняет функцию обеспечения требуемых параметров топливоподачи, включая поддержание заданного расхода и необходимого уровня давления на участке от топливной емкости до форсуночного узла. Интегрированные в насосные агрегаты регуляторы давления обеспечивают стабильность параметров топливоподачи. Оптимизация экологических показателей достигается посредством сервопривода, управляющего воздушной заслонкой и регулирующего воздушный поток.

Конструктивное положение головки сгорания является определяющим фактором для максимальной мощностной характеристики горелочного устройства. В камере сгорания реализуется контролируемое смешение принудительно подаваемых потоков воздуха и топлива с формированием стабильного факела пламени.

Обобщение проведенного исследования технологических аспектов позволяет сформулировать ряд ключевых заключений.

Выполненный анализ охватывает широкий спектр современных возобновляемых технологий и специфику их практического внедрения в производственные процессы. Биодизельное топливо демонстрирует высокую экономическую эффективность и значительные экологические преимущества, что стимулирует формирование комплексных государственных программ поддержки данного направления в различных странах. Механизмы государственного регулирования включают как обязательные нормативные требования по использованию биодизельного топлива, так и систему экономических стимулов для производителей и потребителей.

Однако практическое применение биодизельного топлива сопряжено с определенными технологическими вызовами, среди которых особое значение имеют специфические требования к условиям хранения. Ключевым ограничивающим фактором выступает относительно короткий период сохранения эксплуатационных характеристик топлива, не превышающий трехмесячного срока. Данное обстоятельство требует тщательного планирования логистических цепочек и создания специализированной инфраструктуры для обеспечения своевременной доставки биодизельного топлива от производителя к конечному потребителю.

Кроме того, успешная реализация проектов по внедрению биодизельного топлива предполагает необходимость комплексного учета климатических особенностей региона эксплуатации, разработки специальных технических решений для хранения и транспортировки, а также создания системы оперативного контроля качества топлива на всех этапах его жизненного цикла.

3 Опытнo-экспериментальная апробация внедрения ресурсoвoзoбнoвляемых технологий в организации

3.1 Алгоритм внедрения ресурсoвoзoбнoвляемых технологий в организации

Алгоритм внедрения ресурсoвoзoбнoвляемых технологий в организации включает следующие этапы:

- анализ текущего состояния. Оценка энергетических потребностей и источников потребления в организации, выявление областей, где можно внедрить ресурсoвoзoбнoвляемые технологии;
- определение целей и приоритетов. Установление конкретных целей внедрения технологий, определение областей, где их применение будет наиболее эффективным;
- техническое планирование. Идентификация подходящих ресурсoвoзoбнoвляемых технологий (солнечная энергия, ветряная энергия, геотермальная энергия и другие), разработка технического плана и выбор наиболее подходящих технологий для конкретных потребностей организации;
- финансовый анализ и привлечение финансирования. Оценка затрат на внедрение и эксплуатацию технологий, расчет экономической эффективности, привлечение финансовых ресурсов для внедрения проекта;
- планирование реализации. Разработка конкретного плана поэтапного внедрения, установление сроков и этапов реализации;
- обучение и подготовка персонала. Проведение обучения сотрудников, вовлеченных в работу с новыми технологиями, подготовка квалифицированных специалистов;

- мониторинг и управление. Регулярный мониторинг работы ресурсозобновляемых технологий, управление процессом для обеспечения оптимальной работы систем;
- оценка результатов. Проведение оценки результатов внедрения, анализ достигнутых целей и экономической эффективности.

В котельном комплексе реализована комбинированная система теплогенерации, включающая как паровые, так и водогрейные установки. Основу парового сегмента составляют котлы модели FR 25-3-12, производства компании Энтророс, каждый из которых обеспечивает выработку пара в объеме 3 тонны в час. Водогрейная составляющая представлена котлами двух типов: агрегатами Термотехник ТТ100 с единичной тепловой мощностью 1,0 МВт и установкой ЗИОСАБ-500 мощностью 0,5 МВт. Все оборудование произведено российским предприятием Энтророс, при этом линейка котлов Термотехник разработана специально для обеспечения теплоснабжения различных объектов и технологических процессов.

Детальный анализ технических характеристик котла FR 25-3-12 (серия ЗиОСаб) демонстрирует следующие эксплуатационные параметры:

«Установка обеспечивает номинальную паропроизводительность на уровне 3 т/ч при тепловой мощности 1,95 МВт. Рабочее давление пара не превышает 1,0 МПа (10 кгс/см²), а максимальная температура пара составляет 184°С. Котел производит насыщенный водяной пар с показателем влажности не более 3%. Энергетическая эффективность агрегата характеризуется стабильным КПД 89,6% как при работе на природном газе, так и на дизельном топливе. Температурные показатели уходящих газов варьируются в зависимости от типа топлива: 240°С при использовании природного газа и 260°С при работе на дизельном топливе. Особого внимания заслуживают показатели расхода рабочих сред: потребление природного газа составляет 216,8 нм³/ч, в то время как расход дизельного топлива достигает 181,5 кг/ч. Воздушное обеспечение процесса горения

требует 2264,8 нм³/ч при работе на газе и 2326,9 нм³/ч при использовании дизельного топлива. Объем образующихся дымовых газов находится на уровне 2518,8 нм³/ч и 2504,3 нм³/ч соответственно. Аэродинамическое сопротивление котла составляет 1110 Па, а масса установки без горелочного устройства достигает 7,85 тонн» [18].

Таблица 7 – Характеристика котла Термотехник ТТ100

Наименование показателя	Единица измерения	Показатель
Номинальная тепловая мощность	МВт	1,00
Максимальная температура воды на выходе	°С	115
Максимальная температура воды на входе	°С	70
Максимальное избыточное давление воды	МПа	0,6
Водяной объем котла	м ³	1,76
Аэродинамическое сопротивление	Па	290
КПД (природный газ/дизтопливо) не менее	%	91,3
Температура уходящих газов при полной нагрузке	°С	210
Расход топлива (природный газ/дизтопливо)	нм ³ /ч / кг/ч	117,7 / 98,6
Масса (без горелки)	т	2,79

Таблица 8 – Характеристика котла ЗИОСАБ-500

Наименование показателя	Единица измерения	Показатель
Номинальная теплопроизводительность	МВт	0,50
КПД, не менее	%	91
Рабочее давление воды в котле	МПа	0,6
Аэродинамическое сопротивление	Па	0,2
Водяная емкость котла	м ³	0,45
Температура уходящих газов при полной нагрузке	°С	160
Расход топлива (природный газ/дизтопливо)	нм ³ /ч / кг/ч	59,1 / 49,5
Масса (без горелки)	т	1405

Таблица 9 – Характеристика котла Buderus Logano S825/S825LN

Наименование показателя	Единица измерения	Показатель
Номинальная теплопроизводительность	МВт	1,00
КПД, не менее	%	91
Рабочее давление воды в котле	МПа	0,6
Аэродинамическое сопротивление	Па	0,22
Водяная емкость котла	м ³	1,3
Температура уходящих газов при полной нагрузке	°С	155
Расход топлива (природный газ/дизтопливо)	нм ³ /ч / кг/ч	60,1 / 55,2
Масса (без горелки)	т	3600

Как видно из таблиц 8 – 10, рассматриваемые марки котлов имеют достаточно технологичные показатели. Кроме того, котлы отечественного производства просты в управлении и эксплуатации.

В процессе модернизации котельного оборудования с переходом на биодизельное топливо первостепенное значение приобретает детальное исследование тепловых характеристик системы. Центральным элементом данного анализа выступает принципиальная тепловая схема, являющаяся фундаментальным документом, отражающим физические принципы энергетических преобразований и особенности реализации теплового потенциала теплоносителя в рамках технологического цикла.

Графическое представление технологического процесса реализуется через детальное отображение компоновки основного и вспомогательного оборудования, объединенного сетью технологических трубопроводов, обеспечивающих последовательное перемещение теплоносителя в соответствии с технологическим регламентом.

Исследование тепловой схемы котельной направлено на решение нескольких взаимосвязанных стратегических задач. Приоритетным направлением является всесторонняя оценка суммарной тепловой нагрузки, учитывающая как потребности внешних потребителей, так и энергетические

затраты на обеспечение технологических процессов самой котельной. Результаты такого анализа позволяют осуществить оптимальное распределение тепловых нагрузок между паровой и водогрейной частями котельной установки, что создает научно обоснованную базу для выбора технологического оборудования с оптимальными характеристиками.

Отдельного внимания заслуживает процесс формирования исходной информационной базы для последующей технико-экономической оценки проекта модернизации. Данный этап включает разработку прогнозных моделей годовой выработки тепловой энергии, определение ожидаемых показателей топливопотребления, а также расчет комплекса технико-экономических параметров, характеризующих эффективность функционирования модернизированной котельной установки. Такой комплексный подход обеспечивает всестороннюю оценку целесообразности перевода котельной на биодизельное топливо и позволяет минимизировать возможные технологические и экономические риски.

В процессе инженерного анализа тепловой схемы производится многофакторная оценка энергетических характеристик котельной установки с учетом вариативности режимов эксплуатации. Данный расчет позволяет определить не только суммарную теплопроизводительность котельного оборудования, но и выявить особенности распределения тепловых потоков в системе.

Математическое моделирование гидравлических и тепловых процессов дает возможность установить количественные характеристики циркуляции теплоносителя в трубопроводной сети при различных эксплуатационных нагрузках. На основе полученных результатов формируется детальное представление о пространственно-временном распределении теплоносителя в системе и определяются интегральные показатели тепловой мощности установки.

Специфические режимы функционирования котельной систематизированы и представлены в табличной форме (таблица 10).

Таблица 10 – Режимы работы котельной

Наименование	Ед. изм.	Режим работы		
		1-ый	2-ой	3-ий
Суммарная нагрузка потребителей:				
- водогрейная часть	МВт	1,96/0,5	1,56/0,5	0,94/0,5
- паровая часть	т/ч	6,40	5,92	6,4
Собственные нужды котельной:				
- водогрейная часть	МВт	0	0	0
- паровая часть	т/ч	0,99	0,98	1,02
Потери в наружных сетях:				
- водогрейная часть	МВт	0,00	0,00	0,00
- паровая часть	т/ч	0,00	0,00	0,00
Требуемая производительность котлов:				
- водогрейная часть	МВт	1,96/0,5	1,56/0,5	0,94/0,5
- паровая часть	т/ч	7,62	7,11	7,65
Количество котлов в работе:				
- водогрейная часть	шт	2/1	2/1	1/1
- паровая часть	шт	3	3	3
% загрузки котлов:				
- водогрейная часть	%	98/100	78/100	94/100
- паровая часть	%	84,67	79	85

Выполним расчет концентрации вредных веществ для зимнего периода. В данный период работаю три котельных агрегата, так как имеется на ГВС и отопление.

По формуле (1) находим параметр v_M :

$$v_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}}, \quad (1)$$

$$v_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{6,89 \cdot 154,5}{20}} = 2,45.$$

Так как параметр $v_M > 2$, то $n = 1$.

По формуле (2) находим параметр f :

$$f = \frac{10^3 \cdot w^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (2)$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 13,71^2 \cdot 0,8}{20^2 \cdot 154,5} = 2,43.$$

Безразмерный коэффициент m находится по формуле (3):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad (3)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{2,43} + 0,34\sqrt[3]{2,43}} = 0,78.$$

Максимальная приземная концентрация загрязняющего вещества для выбранной высоты рассчитывается по формуле:

$$C_{NO_2} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}} \quad (4)$$

$$C_{NO_2} = \frac{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,78 \cdot 1}{20^2 \cdot \sqrt[3]{6,89 \cdot 154,5}} = 0,031 \text{ мг/м}^3.$$

Максимальная приземная концентрация NO_2 ($0,031 \text{ мг/м}^3$) за зимний режим не превышает ПДК этого вещества ($0,085 \text{ мг/м}^3$).

Выполним расчет концентрации вредных веществ для летнего периода. В данный период работает только один котел, так как имеется нагрузка только на ГВС. Выброс окислов азота, г/с, рассчитывается по NO_2 по формуле (5):

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot B \cdot Q_p^H \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta), \quad (5)$$

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 36067 \cdot 0,38 \cdot 0,09 \cdot (1 - 0) = 1,23 \text{ г/с}.$$

Объемный расход дымовых газов при нормальных условиях рассчитывается по формуле (6) [30]:

$$V_H = V_2 \cdot B \cdot n, \quad (6)$$

$$V_H = 11,721 \cdot 0,38 \cdot 1 = 4,45 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расчетный объем дымовых газов определяется по формуле (7):

$$V_p = \frac{p_H \cdot V_H \cdot T_p}{p_p \cdot T_H}, \quad (7)$$

$$V_p = \frac{760 \cdot 4,45 \cdot (139 + 273)}{740 \cdot (22,8 + 273)} = 6,37 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Скорость газов определяется по формуле (8):

$$\omega = \frac{4 \cdot V}{D_0^2 \cdot \pi}, \quad (8)$$

$$\omega = \frac{4 \cdot 6,37}{0,8^2 \cdot 3,14} = 12,7 \text{ м/с}.$$

Тогда по формуле (9) находим параметр v_M :

$$v_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}}, \quad (9)$$

$$v_M = 0,65 \sqrt[3]{\frac{6,37 \cdot 116,2}{20}} = 2,17.$$

Так как параметр $v_M > 2$, то $n = 1$.

По формуле (10) находим параметр f :

$$f = \frac{10^3 \cdot \omega^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (10)$$

$$f = \frac{10^3 \cdot 12,7^2 \cdot 0,8}{20^2 \cdot 116,2} = 2,78.$$

Безразмерный коэффициент m для дальнейших расчетов найдем по формуле (11):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34^3\sqrt[3]{f}} \quad (11)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{2,78} + 0,34^3\sqrt[3]{2,78}} = 0,76.$$

Максимальная приземная концентрация загрязняющего вещества для выбранной высоты рассчитывается по формуле (12):

$$C_{NO_2} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}, \quad (12)$$

$$C_{NO_2} = \frac{160 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,76 \cdot 1}{20^2 \cdot \sqrt[3]{6,37 \cdot 116,8}} = 0,034 \text{ мг/м}^3.$$

Максимальная приземная концентрация NO_2 ($0,034 \text{ мг/м}^3$) за летний режим не превышает ПДК этого вещества ($0,085 \text{ мг/м}^3$).

3.2 Оценка эффективности внедрения ресурсозобновляемых технологий в организации

Энергетический вопрос и рациональное использование энергетических ресурсов продолжают оставаться ключевыми вызовами современности, затрагивающими интересы всего мирового сообщества. В контексте теплоснабжения особую актуальность приобретает техническое переоснащение и модернизация существующей инфраструктуры.

Совершенствование механизмов реализации энергосберегающих программ и повышение энергоэффективности в секторе теплоснабжения способствует не только снижению износа технологического оборудования, но и существенному улучшению качественных показателей предоставляемых услуг при одновременном повышении их доступности для конечных потребителей [22].

Выполненные технико-экономические исследования указывают на существенные возможности повышения эффективности котельного хозяйства путем комплексной модернизации, включающей переход на биодизельное топливо и установку современных горелочных устройств. Внедрение автоматизированного горелочного оборудования нового поколения позволяет достичь синергетического эффекта, характеризующегося одновременным увеличением энергетического КПД теплогенерирующих установок и оптимизацией расхода топливных ресурсов. Однако для принятия окончательного решения о реализации предложенных технических мероприятий требуется всесторонний анализ их экономической эффективности.

Комплексный подход к экономической оценке проекта базируется на последовательном анализе всех компонентов инвестиционной программы. Первоначальный этап включает детальный расчет совокупных капитальных затрат, охватывающий расходы на проектирование, приобретение необходимого технологического оснащения и проведение полного комплекса монтажных и пусконаладочных мероприятий.

Одновременно с этим выполняется перспективная оценка операционных расходов, которые в совокупности определяют итоговую себестоимость генерации тепловой энергии. Данный анализ учитывает как прямые производственные затраты, так и косвенные расходы, связанные с обеспечением технологического процесса, что позволяет сформировать полную картину экономических показателей проекта на всех этапах его реализации.

Экономическая структура предприятия теплоснабжения характеризуется сложной системой производственных издержек, обеспечивающих бесперебойное функционирование технологического комплекса и гарантированное теплоснабжение потребителей. В составе эксплуатационных затрат можно выделить несколько ключевых категорий: затраты на энергоносители, включающие стоимость основного и резервного топлива, расходы на покрытие собственных потребностей в тепловой и электрической энергии, а также затраты на прочие энергетические ресурсы. Существенную долю в структуре расходов составляют отчисления на амортизацию производственных активов, затраты на сервисное обслуживание и ремонтные работы, фонд заработной платы производственного персонала, а также комплекс накладных и вспомогательных расходов, обеспечивающих функционирование всех технологических систем.

Финальной стадией экономической оценки является определение срока возврата инвестиций путем сравнительного анализа основных технико-экономических показателей котельной установки в исходном состоянии и после внедрения модернизационных решений.

Капитальные вложения в проект включают несколько основных статей: расходы на разработку комплекта проектно-сметной документации, затраты на выполнение строительно-монтажных работ при реконструкции котельного оборудования, стоимость технологических компонентов, а также расходы на монтаж и проведение пусконаладочных мероприятий. Такая детализация инвестиционных затрат позволяет провести точную оценку экономической эффективности проекта и определить оптимальные источники финансирования.

Стоимостные показатели основного оборудования определяются на основании актуальных прейскурантов предприятий-изготовителей по состоянию на декабрь 2023 года.

Таблица 11 – Смета затрат на перевод котельной на биодизельное топливо и замены горелочных устройств с целью повышения эффективности его работы

Наименование затрат	Цена, тыс. руб	Кол-во,	Сумма, тыс. руб.
		шт.	
Проектные, монтажные, пуско-наладочные работы			
Проектные работы	100	1	100
Демонтажные работы	18	3	54
Монтажные работы	25	3	75
Пуско-наладочные работы	15	1	15
Оборудование			
Горелочное устройство ЖБЛ-0,85/1,2-4п-МГ	124,355	3	373,065
Другое (дополнительные материалы для монтажа горелки: винты, запорная арматура)	5	3	15
Итого	-	-	632,065

Таким образом, сумма затрат на перевод котельной на биодизельное топливо и замены горелочных устройств с целью повышения эффективности его работы составит 632,065 тыс. руб.

Сумма отчислений на амортизацию рассчитывается по формуле (13), тыс. руб./год:

$$P_{аморт} = a \cdot C_1, \quad (13)$$

где a – норма отчислений на амортизацию от стоимости горелочных устройств, %. Принимается $a = 1,6 \%$.

C_1 – стоимость горелочного устройства, тыс. руб. Принимается для 3 горелок $C_1 = 135,500$ тыс. руб.

$$P_{аморт} = 1,6 \cdot 135,500 \cdot 10^{-2} = 2,17 \text{ тыс. руб./год.}$$

Сумма отчислений на текущий ремонт определяется по формуле (14), тыс. руб./год:

$$P_{\text{тек}} = t \cdot C_1, \quad (14)$$

где t – норма отчислений на текущий ремонт от стоимости оборудования, %. Принимается $t = 1,0 \%$.

$$P_{\text{тек}} = 1,0 \cdot 135,500 \cdot 10^{-2} = 1,355 \text{ тыс. руб./год.}$$

Основная и дополнительная заработная плата персонала котельной по данным предприятия составляет $C_{\text{перс}} = 855,5$ тыс. руб./год.

Сумма общепроизводственных и прочих расходов рассчитывается по формуле (15), тыс. руб./год:

$$P_{\text{общ}} = b \cdot C_{\text{перс}}, \quad (15)$$

$$P_{\text{общ}} = 10 \cdot 855,5 \cdot 10^{-2} = 85,55 \text{ тыс. руб./год.}$$

Сумма отчислений на социальные нужды рассчитывается по формуле (16), тыс. руб./год:

$$P_{\text{соц}} = c \cdot C_{\text{перс}}, \quad (16)$$

где c – норма отчислений на социальные нужды, %. Принимается $c = 30 \%$.

$$P_{\text{соц}} = 30 \cdot 855,5 \cdot 10^{-2} = 256,65 \text{ тыс. руб./год.}$$

Расход топлива на 1 котел с базовой горелкой составляет [30]:

$$B_{\text{год}} = 0,02 \text{ кг у.т./ч} = 0,02 \cdot 24 \cdot 365 = 175,2 \text{ кг у.т./год.}$$

Расход топлива с 3 котлами с базовой горелкой составляет:

$$B_{\text{год}} = 3 \cdot 175,2 = 525,6 \text{ кг у.т./год.}$$

Сумма затрат на топливо определяется по формуле (17), тыс. руб./год:

$$P_{\text{топл}} = p \cdot B_{\text{год}}. \quad (17)$$

На один котел:

$$P_{\text{топл}} = 175,2 \cdot 10000 = 1752 \text{ тыс. руб./год.}$$

На котельную с 3 котлами:

$$P_{\text{топл}} = 3 \cdot 1752 = 5256 \text{ тыс. руб./год.}$$

Расходы на водоснабжение не учитываем, т.к. водозабор осуществляется из имеющихся источников на территории расположения.

Общая сумма текущих затрат котельной до модернизации определяется формулой (18):

$$U_1 = P_{\text{аморт}} + P_{\text{тек}} + P_{\text{общ}} + P_{\text{соц}} + P_{\text{топл}}, \quad (18)$$

$$U_1 = 2,17 + 1,355 + 85,55 + 256,65 + 5256 = 5601,73 \text{ тыс. руб./год.}$$

Себестоимость производства 1 Гкал теплоты, отпущенной котельной до модернизации, рассчитывается по формуле (19):

$$S_1 = \frac{U_1}{Q_{\text{год}}}, \quad (19)$$

где $Q_{\text{год}}$ – годовой отпуск теплоты, Гкал.

$$S_1 = \frac{5601,73}{8760} = 0,64 \text{ руб./Гкал.}$$

Стоимость газовых горелочных устройств ЖБЛ-0,85/1,2-4п-МГ (3 шт.) составляет $C_2 = 373,065$ тыс. руб.

Сумма отчислений на амортизацию рассчитывается по формуле (13), тыс. руб./год:

$$P_{аморт} = 1,6 \cdot 373,065 \cdot 10^{-2} = 5,97 \text{ тыс. руб./год.}$$

Рассчитаем расход топлива котельной после мероприятий. Количество котлов – 3 ед. Расход топлива на 1 котел составляет [30]:

$$B_{год} = 0,019 \text{ кг у.т./ч} = 0,019 \cdot 24 \cdot 365 = 166,44 \text{ кг у.т./год.}$$

Расход топлива на котельную с 3 котлами с базовой горелкой составляет:

$$B_{год} = 3 \cdot 166,44 = 499,32 \text{ кг у.т./год.}$$

Сумма затрат на топливо определяется по формуле (17), в тыс. руб./год по следующей схеме:

– на один котел:

$$P_{топл} = 166,44 \cdot 10000 = 1664,4 \text{ тыс. руб./год.}$$

– на котельную с 3 котлами:

$$P_{топл} = 3 \cdot 1664,4 = 4993,2 \text{ тыс. руб./год.}$$

Расходы на водоснабжение не учитываем, т.к. водозабор осуществляется из имеющихся источников на территории расположения. Сумма общепроизводственных и прочих расходов, отчислений на социальные нужды останутся неизменными по формулам (16), (17).

Сумма отчислений на текущий ремонт определяется по формуле (14), тыс. руб./год:

$$P_{тек} = 1,0 \cdot 373,065 \cdot 10^{-2} = 3,731 \text{ тыс. руб./год.}$$

Общая сумма текущих затрат котельной до модернизации определяется формулой (18), тыс. руб./год:

$$U_2 = 5,97 + 3,731 + 85,55 + 256,65 + 4993,2 = 5345,1 \text{ тыс. руб./год.}$$

Себестоимость производства 1 Гкал теплоты, отпущенной котельной до модернизации, рассчитывается по формуле (19):

$$S_2 = \frac{5345,1}{8760} = 0,61 \text{ руб./Гкал.}$$

Срок окупаемости определяется по формуле (20):

$$T_{ок} = \frac{K}{(S_1 - S_2)Q_{год}}, \quad (20)$$

где K – капитальные затраты проекта модернизации котельной, руб.;

S_1, S_2 – себестоимости 1 Гкал теплоты, отпущенной котельной до модернизации и после соответственно;

$Q_{год}$ – годовой отпуск тепла, Гкал/год.

$$T_{ок} = \frac{632,065}{(0,64 - 0,61)8760} = 2,4 \text{ года.}$$

Проведенный экономический анализ эффективности модернизации теплогенерирующего оборудования демонстрирует значительные изменения в структуре эксплуатационных затрат и себестоимости тепловой энергии. Рассмотрим подробно трансформацию основных экономических показателей до и после реализации модернизации.

Анализ амортизационных отчислений показывает их увеличение с 2,17 до 5,97 тысяч рублей в год, что обусловлено внедрением нового оборудования. Соответственно, возросли и затраты на текущий ремонт – с 1,355 до 3,731 тысяч рублей в год, что является закономерным следствием увеличения стоимости основных фондов.

При этом ряд показателей остался неизменным: общепроизводственные и прочие расходы сохранились на уровне 85,55 тысяч рублей в год, а отчисления на социальные нужды – 256,65 тысяч рублей в год, что свидетельствует о сохранении организационной структуры производства.

Наиболее существенные изменения произошли в сфере топливопотребления: годовые затраты на топливо снизились с 5256 до 4993,2 тысяч рублей, демонстрируя повышение энергоэффективности модернизированного оборудования. Это привело к снижению общей суммы текущих затрат с 5601,73 до 5345,1 тысяч рублей в год.

В результате проведенных мероприятий достигнуто снижение себестоимости производства тепловой энергии: если до модернизации стоимость производства 1 Гкал составляла 0,64 рубля, то после внедрения нового оборудования этот показатель снизился до 0,61 рубля за Гкал, что подтверждает экономическую целесообразность проведенной модернизации.

Вывод по третьему разделу.

В данном разделе рассмотрена возможность внедрения предлагаемых мероприятий.

В современном мире вопросы энергообеспечения и рационального использования энергетических ресурсов приобретают первостепенное

значение, формируя один из ключевых глобальных вызовов, затрагивающих интересы всего международного сообщества. Особую актуальность в данном контексте приобретает комплексная модернизация систем теплоснабжения, включающая техническое перевооружение существующей инфраструктуры и внедрение инновационных технологических решений.

Интенсификация реализации энергосберегающих программ и повышение энергетической эффективности в секторе теплоснабжения открывает широкие перспективы для качественного обновления отрасли. Такой подход не только способствует снижению физического износа технологического оборудования, но и создает предпосылки для существенного повышения эксплуатационных характеристик систем теплоснабжения. Результатом этих преобразований становится значительное улучшение качественных показателей предоставляемых услуг при одновременном повышении их доступности для конечных потребителей.

Особое внимание в рамках проводимого исследования уделяется оценке эффективности комплекса мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности производственного процесса. Этот аспект приобретает особую значимость в контексте современных требований к энергетическим объектам, где экологические показатели становятся одним из определяющих факторов при выборе технологических решений и оценке их эффективности.

Заключение

В данной работе рассмотрены вопросы обеспечения экологической безопасности при внедрении ресурсозобновляемых технологий. В качестве объекта исследования выбрана производственная котельная, а в качестве основных решений – рассмотрение возможности перевода котельной на работу на биодизельном топливе.

В контексте решения данной экологической проблемы особую актуальность приобретает внедрение альтернативных видов топлива, среди которых биодизель демонстрирует значительный потенциал для замещения традиционного дизельного топлива в промышленных теплоэнергетических установках. Использование биодизельного топлива в котельных агрегатах представляет собой инновационное технологическое решение, позволяющее существенно минимизировать антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Особую ценность биодизельному топливу придает специфика его производства, основанная на использовании возобновляемого растительного сырья. Технологический процесс получения биодизеля базируется на переработке различных растительных масел, включая рапсовое, соевое и подсолнечное, а также предусматривает возможность утилизации животных жиров. Применение биоразлагаемых компонентов и возобновляемых ресурсов в производственном цикле обеспечивает формирование замкнутого экологического цикла, что способствует значительному снижению углеродного следа и общего негативного воздействия на природные экосистемы.

При сжигании биодизеля вместо обычного дизельного топлива в котельных выбросы загрязняющих веществ существенно снижаются. Например, выбросы оксидов азота и твердых частиц при использовании биодизеля намного ниже, чем при сжигании обычного дизеля. Это связано с более полным сгоранием биодизеля и его меньшей содержащей серы. Кроме

того, биодизель имеет более низкое содержание ароматических углеводородов, что также способствует сокращению вредных выбросов.

Особенно важно отметить, что использование биодизеля способствует уменьшению выбросов парниковых газов, таких как углекислый газ, поскольку биодизель является биологически разлагаемым и обладает нулевым балансом углерода. Это делает биодизель более экологически чистым и способствует сокращению вклада в парниковый эффект и изменение климата.

Внедрение биодизельного топлива в энергетический комплекс промышленных котельных открывает широкие перспективы для минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Значительное сокращение эмиссии загрязняющих веществ при использовании биодизеля способствует улучшению качественных показателей атмосферного воздуха, снижению климатической нагрузки и сохранению природных экосистем.

Высокая эффективность биодизельного топлива, подтверждаемая комплексом технико-экономических показателей, в сочетании с существенными экологическими преимуществами стимулирует активное развитие государственных программ поддержки в различных странах мира. Эти программы, реализуемые как в формате обязательных нормативных требований, так и через систему экономического стимулирования, направлены на расширение производственной базы и увеличение объемов потребления биодизельного топлива.

Однако необходимо учитывать, что практическое применение биодизеля сопряжено с определенными технологическими особенностями и ограничениями. Особого внимания заслуживают вопросы организации системы хранения данного вида топлива. Специфический химический состав биодизеля, основу которого составляют метиловые эфиры жирных кислот, обуславливает его повышенную склонность к окислительным процессам. Кроме того, существенным фактором, влияющим на качество топлива при хранении, является его гигроскопичность – способность активно поглощать

влагу из окружающей среды.

Повышенная растворяющая способность и его агрессивность могут создать проблемы для топливной системы. Биодизель способен растворять не только старые отложения, но порой и отдельные полимерные детали, эластомеры, клеевые соединения и даже металлы в топливной системе. Так, вполне возможна реакция с такими антикоррозийными покрытиями как оцинковка или внутренние защитные слои топливного бака, основу которых составляет эпоксидная смола. Биодизель, вступающий в реакцию с материалами топливной системы, образует в результате мылообразные продукты, засоряющие фильтр.

Экономическая оценка предложенных инициатив демонстрирует их высокую эффективность. Внедрение новых технологий позволит достичь двойного эффекта: сократить объем вредных выбросов и снизить себестоимость тепловой энергии за счет оптимизации расхода топливных ресурсов. Расчеты показывают, что инвестиции окупятся за 2,4 года, что существенно ниже пятилетнего порога окупаемости. Это убедительно подтверждает экономическую целесообразность предлагаемых преобразований.

Список используемых источников

1. Аблаев А.Р. Производство и применение биодизеля: справочное пособие. М.: АПК и ППРО, 2006. 80с.
2. Беликов С. Е., Котлер В. Р. Котлы тепловых электростанций и защита атмосферы. М.: ИД «Аква-Терм», 2008. 212 с.
3. Биодизель как современный вид топлива: производство, применение, виды. [Электронный ресурс] : URL: <https://s-proms.ru/raznoe-2/proizvodstvo-biodizelya-biodizel-kak-sovremennyj-vid-topliva-proizvodstvo-primeneniya-vidy.html> (дата обращения: 26.07.2024).
4. Биодизель: производство, использование, виды. [Электронный ресурс] : URL: <https://www.trader-oil.ru/informatsiya/dizelnoe-toplivo-info/biodizel-proizvodstvo-ispolzov/> (дата обращения: 01.07.2024).
5. Бобылев С.Н., Захаров В.М. Экология и экономика. «Зеленая» экономика. Человек и природа. М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы / Центр устойчивого развития и здоровья среды ИБР РАН / Центр экологической политики России. 2015. 98 с.
6. ГОСТ 10585-2013 Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия. [Электронный ресурс] : URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107837>. (дата обращения: 26.07.2024).
7. ГОСТ 17.2.1.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Метеорологические аспекты загрязнения и промышленные выбросы. Основные положения. Основные термины и определения. [Электронный ресурс] : URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004384>. (дата обращения: 26.07.2024).
8. ГОСТ 33103.2-2017 Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. [Электронный ресурс] : URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146149>. (дата обращения: 26.07.2024).
9. ГОСТ 33131-2014 Смеси биодизельного топлива (В6 - В20). Технические требования. (введен в действие приказом Федерального

агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 мая 2015 г. N 474-ст).

10. Дворецкий С.И., Зазуля А.Н., Нагорнов С.А., Романцова С.В., Рязанцева И.А. Производство биодизельного топлива из органического сырья // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2012. № 5 (39). С. 126-135.

11. Евсеева А.А., Красникова Д.А., Панферов О.Д. Актуальные проблемы применения биотоплива в России // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2015. Т. 13. С. 3526–3530. URL: <http://e-koncept.ru/2015/85706.htm>. (дата обращения: 09.08.2024).

12. Зеленский С.И., Рыжиков В.А., Сколяров Я.Н. Охрана окружающей среды при работе теплоэнергетических систем: учеб. Пособие. М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. 97 с.

13. Методических указаниях по разработке нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, утверждённых приказом Минприроды России от 07 декабря 2020 года №1021. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400042492/> (дата обращения: 01.08.2024).

14. Назаренко Л.В. Биотопливо: история и классификация его видов. Актуальные проблемы естествознания // Вестник МГПУ. 2012. № 2 (10). С. 16–32.

15. Недбайлов М.С. Биоэнергетика: основные тенденции развития рынка и перспективы для России // Креативная экономика. 2023. Том 17. №3. С. 869–882.

16. Общероссийская общественная организация URL: <https://biorosinfo.ru/programmy-i-proekty/nacionalnaya-programma-razvitie-biotekhnologii/> (дата обращения: 12.03.2024).

17. Патент № 2187753 Российская Федерация, МПК F23D 11/10.

Вихревая форсунка : №2000123315/06 : заявл. 07.09.2000 : опубл. 20.08.2000 :
Ладикайнен А.И.; заявитель Ладикайнен А.И. URL:
<https://patents.google.com/patent/RU2187753C2/ru/> (дата обращения:
01.09.2024).

18. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух.
(Издание восьмое). НИИ "Атмосфера" № 2010, 2010. 138 с. URL:
<https://gostinform.ru/normativnye-dokumenty-po-ekologicheskomu-nadzoru/perechen-obj47305.html> (дата обращения: 01.09.2024).

19. Проблемы и перспективы государственного регулирования
инновационной деятельности в России / А. В. Ширяев. Ростов н/Д: 2022. 80 с.

20. Старорусприбор URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата
обращения: 01.08.2024).

21. Струнин Д.А. Зеленые технологии и устойчивое развитие //
Молодой ученый. 2024. № 32 (531). С. 23-25. URL:
<https://moluch.ru/archive/531/117034/> (дата обращения: 06.11.2024).

22. Технические требования на систему автоматизированного
управления горелками газомазутного котла, способствующую повышению
взрывобезопасности при розжиге горелок. Российское открытое акционерное
общество энергетики и электрификации "ЕЭС России". СО 34.35.677-2003,
2004. 13 с.

23. Харламова М.Д., Курбатова А.И. Твердые отходы: технологии
утилизации, методы контроля, мониторинг : учебное пособие для вузов. под
редакцией М.Д. Харламовой. 3-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт,
2024. 325 с.

24. Шварца Е.А. Сохранение биоразнообразия: сообщества и
экосистемы. М.: КМК Scientific Press, 2022. 108 с.

25. Яндыганов Я.Я., Власова Е.Я., Никулина Н.Л. Экологическая
безопасность региона (социально-эколого-экономический аспект) //
Экономика региона. 2008. № 3. С. 143–153.

26. Buchan D. Buy-in and social capital: by-products of social impact

assessment. Impact Assessment and Project Appraisal, 2018. 169 p.

27. Gusniah A., Veny H., Hamzah F. Ultrasonic assisted enzymatic transesterification for biodiesel production // Industrial and Engineering Chemistry Research. 2019. Vol. 58 (2). pp. 581-589.

28. Helwani Z., Othman M.R., Aziz N., Kim J., Fernando W.J.N. Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: A review // Applied Catalysis A: General. 2009. Vol. 363. pp. 1-10.

29. Neftegaz.RU. Энергоресурсы, топливо // Сжиженный природный газ (СПГ), технология сжижения. URL: https://neftegaz.ru/tech_library/view/4056-Szhizhennyj-prirodnyj-gaz-SPG-tehnologii-szhizheniya, свободный. (Дата обращения: 14.11.2023).

30. Sibheat Расход топлива для котлов. URL: <http://sibheat.ru/расход-топлива-для-котлов/> (дата обращения: 01.06.2024).