

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Отделение школы (НОЦ) И.Н.Бутакова

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

<b>Тема работы</b>
<b>Исследование условий и характеристик воспламенения био-водоугольных смесей на основе бытовых отходов</b>

УДК 662.612.1-047.37:662.66.022.51-936.2:628.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Альжанов Алимжан Уралович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Сыродой Семен Владимирович	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Куликова О.А.	к.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Борисов Борис Владимирович			

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Отделение школы (НОЦ) И.Н.Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) \_\_\_\_\_ (Дата)  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ73	Альжанову Алимжану Ураловичу

Тема работы:

<b>Исследование условий и характеристик воспламенения био-водоугольных смесей на основе бытовых отходов</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 04.02.2019 №837/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является смесевые топлива на основе угля и бытовых отходов. Предмет исследования тепломассоперенос смесевых топлив.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обзор литературы</li> <li>– Объект и методы исследования</li> <li>– Описание экспериментальной части</li> <li>– Результаты проведенного исследования</li> <li>– Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>– Социальная ответственность</li> </ul> <p>Выводы</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
---	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Меньшикова Екатерина Валентиновна
<b>Социальная ответственность</b>	Куликова Ольга Александровна
<b>Раздел на иностранном языке</b>	Черемисина Харпер Инна Алексеевна

<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Научный сотрудник	Сыродой С.В.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ73	Альжанов Алимжан Уралович		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистра по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

**Универсальные компетенции**

P1 - Использовать представления о методологических основах научного познания и творчества, анализировать, синтезировать и критически оценивать знания

P2 - Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности

P3 - Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации, осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки

P4 - Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития

P5 - Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

**Профессиональные компетенции**

P6 - Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и применения инновационных технологий в теплоэнергетике

P7-Применять глубокие знания в области современных технологий теплоэнергетического производства для постановки и решения задач инженерного анализа, связанных с созданием и эксплуатацией теплотехнического и теплотехнологического оборудования и установок, с использованием системного анализа процессов теплоэнергетики

P8 -Разрабатывать и планировать к разработке технологические процессы, проектировать и использовать новое теплотехнологическое оборудование и теплотехнические установки, в том числе с применением компьютерных и информационных технологий

P9 -Использовать современные достижения науки и передовой технологии в теоретических и экспериментальных научных исследованиях, интерпретировать и представлять их результаты, давать практические рекомендации по внедрению в производство

P10 -Применять методы и средства автоматизированных систем управления производства, обеспечить его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на теплоэнергетическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды

P11 - Готовность к педагогической деятельности в области профессиональной подготовки

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ73	Альжанову Алимжану Ураловичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	Теоретическая и промышленная теплоэнергетика
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.01. Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР

Исследование условий и характеристик воспламенения био-водо-угольных смесей на основе бытовых отходов	
<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Месячный должностной оклад научного сотрудника 33664 руб., магистранта 12664 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 22649 руб. Отчисление на социальные нужды 20459,6 руб.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Разработка инвестиционного плана и оценка рисков.
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. График проведения и бюджет НИ</li> <li>4. Расчёт денежного потока</li> <li>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Альжанов Алимжан Уралович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ73	Альжанову Алимжану Ураловичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Теоретическая и промышленная теплоэнергетика
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Тепломассообменные установки

Тема ВКР:

<b>Исследование условий и характеристик воспламенения био-водоугольных смесей на основе бытовых отходов</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является био-водоугольный композит на основе угля и твердых бытовых отходов. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории №18, 4-го учебного корпуса ТПУ. Лаборатория оснащена всеми необходимыми инструментами, а также экспериментальной установкой (муфельная печь).
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Правовая основа по обеспечению охраны труда и безопасности на рабочем месте основывается на Конституцию РФ и состоит из федеральных законов и нормативно правовых актов, таких как;</li> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</li> <li>– - ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ</li> <li>– - ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ</li> <li>– - ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– Высокая температура изделия;</li> <li>– Химическое воздействие;</li> <li>– Отсутствие или недостаток естественного света</li> <li>– Превышение уровня шума.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Рассмотреть влияние био-водоугольного композита на экологическую обстановку
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Пожар (причиной возникновения пожара может стать нарушение противопожарного режима,



	ненадлежащее соблюдение профилактических мероприятий, отсутствие первичных средств пожаротушения).
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Куликова Ольга Александровна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Альжанов Алимжан Уралович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 90 стр., 7 рис., 22 табл., 48 источников, 1 прил.

Ключевые слова: био-водоугольное топливо, эксперимент, воспламенение, тепломассоперенос, время задержки зажигания.

Объектом исследования является смесевое топливо на основе угля и твердых бытовых отходов.

Цель работы – экспериментальные и теоретические исследования процессов зажигания и горения, существенно неоднородных био-водоугольных композитов на основе твердых бытовых отходов.

В результате исследования было получено зависимость времен задержки зажигания от средних размеров смесевых топлив на основе угля и твердых бытовых отходов.

Область применения: тепловые электрические станции.

Оглавление	
Введение.....	12
1 Анализ мирового опыта сжигания смесевых топлив на основе угля и твердых бытовых отходов.....	17
2 Методики экспериментальных исследований смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов.....	31
2.1 Методика приготовления смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов.....	31
2.2 Методика определения времени задержки зажигания и средних размеров смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов.....	31
3 Экспериментальные исследования процессов воспламенения смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов.....	34
3.1 Анализ результатов экспериментального исследования.....	34
3.2 Анализ зависимости времени задержки зажигания от средних размеров смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов.....	39
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	43
4.1 Предпроектный анализ.....	43
4.2 Инициация проекта.....	45
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	48
4.4 Бюджет научного исследования.....	51
4.5 Реестр рисков проекта.....	57
4.6 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	58
5 Социальная ответственность.....	62
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	63
5.2 Производственная безопасность.....	65
5.3 Экологическая безопасность.....	70
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	71
Заключение.....	74
Список литературы.....	75
Приложение (А).....	80

## Введение

По прогнозам [1] среднегодовой рост потребления электроэнергии в мире, вызванный увеличением численности населения и развитием производственных мощностей, до 2030 года составит 2,4 %. В настоящее время около 36% электроэнергии в мире вырабатывается на угольных тепловых электрических станциях (ТЭС). Это связано, прежде всего, с тем, что уголь является широко распространенным и доступным ископаемым энергетическим ресурсом, цены на который достаточно стабильны. Известно около 3 тыс. угольных бассейнов и месторождений, расположенных более чем в 80 странах, в 55 из которых производится добыча угля. На долю угля приходится более 80% мировых ресурсов ископаемых топлив, на долю нефти и газа – 17%. Существующий ресурсный потенциал России составляет более 1 трлн. тонн угля. Россия занимает пятое место в мире по добыче угля после Китая, США, Индии и Австралии, а также третье место в мире по его экспорту. Уголь – это 5-й крупнейший товар в России. Угольная промышленность обеспечивает более 150 тысяч рабочих мест для занятых в добыче и переработке угля, а также десятки тысяч рабочих мест в смежных или зависимых отраслях промышленности и энергетики. По данным Федерального агентства по недропользованию, в настоящее время в России выданы более 600 лицензий на право пользования угольными месторождениями. Обзор ключевых прогнозируемых показателей производства первичных топливно-энергетических ресурсов в среднесрочной перспективе позволяет спрогнозировать рост добычи угля в России, а также увеличение его экспортных поставок. Добычей и реализацией такого энергоносителя занимаются многие Российские и международные компании [2, 3].

В последние годы угольная промышленность России развивает и увеличивает объемы в основном за счет использования экспортного потенциала: объем добычи угля в России за последние 15 лет – с 2000 по

2017 год – увеличился на 58%, с 258,3 до 408,9 млн. тонн. Объем экспорта – в 3 раза: с 60,7 до 186 млн. тонн по данным ЦДУ ТЭК [4].

Объемы экспортных поставок непрерывно растут в течение более 20 последних лет. По прогнозам экспертов, в 2035 г. экспорт угля из России в страны Азиатско-Тихоокеанского региона увеличится еще на 50 млн. тонн [5]. Росту экспорта способствуют многие факторы, в том числе гибкая ценовая политика российских угольных компаний, политика Китая направленная на борьбу с экологическими проблемами.

При сжигании этого вида топлива с применением устаревших технологий производства тепла и электроэнергии происходит интенсивное выделение загрязняющих веществ ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , летучая зола и другие антропогенные продукты сгорания) [2, 6]. Основные современные методы снижения вредных выбросов, образующихся при эксплуатации угольных тепловых электростанций, разработаны достаточно давно [6]. Большинство из них являются дорогостоящими [6], что приводит к существенному увеличению издержек производства тепла и электроэнергии. Но при этом в ряде случаев (даже при очень больших затратах на очистку дымовых газов) объем загрязняющих атмосферу выбросов остается значительным по сравнению, например, с европейскими ТЭС [6].

Основной проблемой использования угля в качестве топлива является загрязнение окружающей среды. Угледобывающая промышленность является одним из основных источников потребления энергии и выбросов  $\text{CO}_2$ . Для изучения движущих сил изменения выбросов  $\text{CO}_2$  в Китае использовался метод логарифмического индекса средней дивизии (LMDI). В соответствии с развитием отрасли, выбросы  $\text{CO}_2$  в 2020 и 2030 годах были предварительно прогнозированы. Результаты показывают, что в угольной химической промышленности Китая произошло значительное увеличение выбросов  $\text{CO}_2$ : с 177,87 млн. тонн  $\text{CO}_2$  ( $\text{MtCO}_2$ ) до 427,19 млн. тонн  $\text{CO}_2$  в 2005–2015 годах, при этом среднегодовые темпы роста составили 9,16%. В настоящее время доля угольной промышленности в аммиаке является

крупнейшей. Согласно анализу разложения, экономический рост и энергоемкость являются двумя положительными факторами, а структура отрасли является отрицательным фактором для изменения выбросов углерода. В 2020 году выброс  $\text{CO}_2$  составит 617,34 млн. тонн  $\text{CO}_2$  при сценарии медленного развития и 759,69 млн. тонн  $\text{CO}_2$  при сценарии быстрого развития. В 2030 году выбросы  $\text{CO}_2$  достигнут 1041,90 млн. тонн  $\text{CO}_2$  и 1440,13 млн. тонн  $\text{CO}_2$  при сценариях медленной и быстрой разработки, соответственно. Кроме того, к 2030 году, если угледобывающая промышленность будет развиваться в соответствии с планом, ее выбросы  $\text{CO}_2$  значительно увеличатся [7].

Добыча угля приводит к загрязнению воздуха, воды и нарушению земельных ресурсов (в частности, верхних слоев почвы), а также образованию большого количества отходов.

Каждый год 360 млн. кубометров воздуха выдувается в российские шахты и откачано более 200 млн. тонн воды; на карьерах от 300 миллионов до 350 млн. тонн породы перемещается в отвалы пустой породы. В 2009 году удельная интенсивность выбросов на предприятиях, занимающихся добычей топливно-энергетических ресурсов, составляла около 5 кг за тонну добытого угля.

Кемеровская область, где население восьми городов преимущественно занято угольной промышленностью, был в центре самых подробных исследований состояния окружающей среды в угледобывающих регионах России. Состояние окружающей среды в Кемеровской области в 2011 году оценивает средние концентрации некоторых вредных загрязняющих веществ в атмосферу региона на уровнях, превышающих в 2 или 3 раза максимально допустимых пределов. В ряде случаев эти концентрации превышают допустимые пределы в 18 раз. Только в Кемеровской области годовой суммарный выброс в атмосферу оценивается в более 1,5 млн. тонн, а сбросы загрязняющих веществ в сточные воды оцениваются в более чем 0,5 миллиона кубических метров в год.

Еще одна экологическая проблема, связанная с угольной промышленностью, - это выбросы метана. От 1,5 до 2 миллиардов кубометров метана выбрасывается в атмосфера из подземных и открытых угольных шахт. Метан, газ, способный воспламениться даже во влажном состоянии является одним из основных парниковых газов, влияющих на климат и способствуя глобальному потеплению [8].

В последнее десятилетие выбросы пыли и газа в угольной промышленности значительно повысился, достигнув 549 000 тонн по сравнению с уровнем 233 000 тонн десять лет назад.

Согласно информации, предоставленной Инспекцией по охране окружающей среды Нерюнгри - город в Якутии, расположенный возле Нерюнгринского угольного разреза - «на угольных карьерах, взрывной разрыв бесплодной породы и угольных пластов сопровождается выделением пыли и газа облачность размером от 15 до 20 миллионов кубометров. Это облако пыли и газа поднимается на высоту 1500 1700 метров и в течение 4-6 часов приводят к рассеиванию до 500 тонн пыли».

Загрязнение воздушного бассейна при добыче и переработке угля связано с бурением, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания транспортных средств, используемых для земляных работ с углем, выбросы от котельных и пожары, вызванные самовозгоранием угля. С открытой добычи, твердые частицы - неорганическая пыль с содержанием диоксида кремния, угольная зола и сажа - основные загрязнители.

Воздействие угольной промышленности не ограничивается территорией, где находится производственные предприятия по добыче угля, но также влияет на окружающую среду близлежащих населенных пунктов. Воркута и четыре города Кемеровской области – Новокузнецк, Междуреченск, Ленинск-Кузнецкий, Прокопьевск, а также Ухта и Инта в Республике Коми лидируют в стране по выбросам углеводородов и летучих органических соединений [8].

При сжигании угольного топлива происходит интенсивное выделение загрязняющих веществ ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , летучая зола и другие антропогенные продукты сгорания) [2]. Одним из решений экологической проблемы угольной энергетики может стать создание смесевых топлив на основе угля и твердых бытовых отходов [9]. Это решает несколько проблем: значительное снижение выбросов в атмосферу и уничтожение твердых бытовых отходов.

Ключевые слова: био-водоугольное топливо, эксперимент, воспламенение, тепломассоперенос, время задержки зажигания.

Цель работы: Экспериментальные и теоретические исследования процессов зажигания и горения существенно неоднородных био-водоугольных композитов на основе твердых бытовых отходов.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Установление основных факторов, оказывающих значимое влияние на характеристики получаемых смесевых топлив.
2. Разработка методик проведения экспериментальных исследований различных смесевых топлив на основе угля и твердых бытовых отходов.
3. Оценка влияния массовой доли твердых бытовых отходов на энергетическую эффективность смесевых топлив.

Методы исследования. Диссертационная работа выполнена с использованием аналитических и экспериментальных методов исследования.



## **1 Анализ мирового опыта сжигания смесевых топлив на основе угля и твердых бытовых отходов**

В последние десятилетия ведутся активные исследования новых более экологичных топлив по сравнению традиционными [1–3]. Одним из таких композитов являются био-водоугольный композит на основе угля и твердых бытовых отходов. [4–6].

Авторами [9] установлено, что при использовании смешанного топлива концентрации выбросов CO и CH<sub>4</sub> находятся на низком уровне при любых условиях. С увеличением доли твердых бытовых отходов эффективность сгорания немного снижается [9]. Различные рабочие условия в реальном процессе утилизации также оказывают большое влияние на производительность печи, например, положение впрыскивания отходов. С увеличением концентрации твердых бытовых отходов в смешанных видах топлива выбросы HCl увеличивалась, но данный эффект был незначительным при меньшей концентрации твердых бытовых отходов.

Авторы [20] утверждают, что удаление твердых бытовых отходов путем сжигания и производства тепла и электроэнергии является промежуточным этапом между сжиганием отходов (без производства энергии) и повторным использованием отходов в качестве сырья. Вот почему разработка и внедрение принципиально новых технологий и строительство новых промышленных объектов, которые будут использоваться в течение сравнительно короткого периода времени (10-15 лет), экономически нецелесообразно. Технология получения тепла и электричества от сжигания синтез-газа характеризуется минимальным содержанием вредных веществ (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) в газовых очагах; их концентрация не превышает той, которая наблюдается при сжигании природного газа. Следовательно, с точки зрения показателей окружающей среды, производительность сжигания синтез-газа, полученного газификацией твердых бытовых отходов, выше, чем

при сжигании типичных композиционных жидких топлив с такими отходами, добавленных как мелкодисперсные твердые компоненты. Однако в настоящее время практическое использование технологий производства сингаза ограничено: «Основным барьером, который препятствовал широкому распространению передовых технологий газификации для обработки твердых бытовых отходов, было более высокое содержание золы в сырье, затрудняющее операцию газификации. Кроме того, большое количество смол и полукоксовых примесей в добываемом газе делает его непригодным для производства электроэнергии с использованием энергоэффективных газовых двигателей или турбин [20]. Также авторы [20] утверждают, что с точки зрения негативного воздействия на окружающую среду, твердые бытовые отходы являются наиболее опасным типом, поскольку их технологии промышленного удаления недостаточно развиты. Использование синтез-газа в теплоэнергетике вместо широко распространенного твердого ископаемого топлива или жидкого композитного топлива повлечет за собой внедрение дорогостоящих дополнительных процедур для добавления промышленных отходов. установка для газификации отходов в технологический процесс или установка трубопроводов и резервуаров для транспортировки и хранения синтез-газа, произведенного на объектах. Некоторые меры также должны соответствовать стандартам безопасности взрыва и пожарной безопасности. Кроме того, газификация твердых бытовых отходов является довольно энергоемкой технологией. Вот почему утилизация твердых бытовых отходов путем сжигания в качестве композиционных жидких топливных присадок является практичным и перспективным подходом [20].

Исследователями из Китая [11] было выявлено, что совместное сжигание твердых бытовых отходов с углем дает наименьшее количество общих полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и имеет самую низкую эквивалентную величину токсичности (ЭВТ), в сравнении отдельного сжигания твердых бытовых отходов и угля. При совместном сжигании твердых бытовых отходов и угля происходило взаимодействие,

при котором подавлялось образование ПАУ, и снижались показатели ЭВТ [11]. Также в [11] было обнаружено, что самые высокие выходы общих ПАУ были получены в результате сжигания твердых бытовых отходов с последующим сжиганием угля и совместным сжиганием твердых бытовых отходов и угля при различных температурах. Более высокая температура способствовала образованию ПАУ, а 3- и 4-кольцевые ПАУ были доминирующими в общем количестве ПАУ. Исходя из распределения, сформированные ПАУ в основном присутствовали в дымовых газах, а зола уноса содержала больше ПАУ с более высоким кольцом, чем зольный остаток и дымовой газ. Токсичность ПАУ при совместном сжигании твердых бытовых отходов и угля была значительно ниже, чем при сжигании только угля и твердых бытовых отходов. Синергетические взаимодействия происходили между твердыми бытовыми отходами и углем во время совместного сжигания, что приводило к значительному подавлению образования ПАУ, особенно для высокотоксичных ПАУ с высоким содержанием кольца. Настоящее исследование показало, что снижение выбросов и токсичности ПАУ может быть достигнуто за счет совместного сжигания твердых бытовых отходов и угля.

Авторы [14] утверждают, что при использовании смешанных топлив на основе угля и твердых бытовых отходов, может снизить выбросы парниковых газов на антисанитарных свалках твердых бытовых отходов и электростанциях, работающих на угле.

Авторами [15] установлено, что сжигание угля приводит к большим выбросам  $N_2O$  и  $NH_3$ . В связи с этим добавление твердых бытовых отходов для совместного сжигания с углем приводит к снижению концентрации выбросов  $N_2O$  и  $NO_x$ . Как правило, образование  $N_2O$  почти такое же, как и для  $NO_x$ , поэтому основная его доля приходится на летучие вещества. Тем не менее, в отличие от  $NO_x$ , выбросы  $N_2O$  из камер сгорания не подвержены существенному влиянию подготовки воздуха, но сильно зависят от рабочей температуры и уровня избыточного воздуха. Более низкая концентрация от

твердых бытовых отходов в некоторой степени противодействовала некоторой части эмиссии  $N_2O$ . Однако основной вклад в борьбу с выбросами заключался в том, что удаление летучих компонентов из твердых бытовых отходов, отношения  $O / C$  и  $H / C$  были выше, чем у угля, что привело к существованию доступных радикалов  $OH$  и  $H$ , что способствует дальнейшему присутствию  $HCN$ , выбрасываемого из угля [15].

Авторами [16] были проанализированы данные жизненного цикла процесса сжигания.  $CO_2$  выбросы от ископаемого топлива, включая вспомогательный уголь, являются основным источником глобального потепления. Однако совместное сжигание отходов и угля смягчало воздействие на подкисление, фотохимический озон и обогащение питательными веществами угольных электростанций из-за замещения энергии. По сравнению с сжиганием с использованием избыточного угля сжигание с достаточным количеством угля дает значительные преимущества для снижения воздействия на глобальное потепление. Между тем, меньше выбросов  $NO_x$  и  $SO_2$ , которые способствуют обогащению питательными веществами и подкислению, были исключены из-за уменьшения выработки и замещения электроэнергии. Тяжелые металлы, такие как  $Hg$ ,  $Cd$  и  $Pb$ , выбрасываемые в воздух, приводили к экотоксичности почвы независимо от количества применяемого вспомогательного угля. Когда две трети золы были отделены от источников и захоронены, сжигание остаточных отходов обеспечило экономию воздействия на глобальное потепление наряду с меньшей экономией на подкисление и обогащение питательными веществами, поскольку вспомогательный уголь не требовался [16].

Отходы пластмасс с более высокой энергетической ценностью, более низким содержанием золы дают меньше летучих органических соединений в лабораторных испытаниях [17]. Это указывает на высокую эффективность сгорания в настольных условиях. Таким образом, метод остаточных летучих органических соединений в лабораторном масштабе может быть использован в качестве метода отбора для выбора подходящего отработанного топлива

для реальных испытаний в печи путем соотнесения эффективности сжигания в лабораторном режиме с потенциальным влиянием на тепловые характеристики полномасштабной печи. Кроме того, простота сравнения, связанная с описанными испытаниями в настольном масштабе, предоставляет операторам хороший ресурс для получения предварительных данных для получения разрешений на испытания топлива и для улучшения выбора и смешивания разнородных отработанных топлив [17].

Авторы [18] предлагают энергетическую программу, которая характеризуется несколькими положительными эффектами. Среди них экономия на высококачественном твердом ископаемом топливе, где за счет снижения их потребления на тепловых электростанциях путем замены угля на комбинированное топливо в эквивалент количества с точки зрения выработки энергии. Стабильность воспламенения и сгорания капли топлива вплоть до полного выгорания горючих компонентов была экспериментально обоснована в [18] для различных топливных композиций в типичных условиях котельных печей. Также [18] были выделены основные этапы взаимосвязанных физико-химических процессов: инертный нагрев; испарение влаги из подповерхностного слоя, термическое разложение твердых горючих компонентов (уголь и твердые бытовые отходы); смешивание горючих газов с окислителем; воспламенение и выгорание газовой смеси; нагрев твердого горючего остатка, неоднородное воспламенение и сгорание [18]. Предлагаемая [18] энергетическая программа полностью решит проблему утилизации твердых бытовых отходов, а также отходов переработки угля. Кроме того, это сократит количество кексов. Добавление твердых бытовых отходов к композитным видам топлива позволит утилизировать до 50% их годового объема производства [18].

Авторы [19] пришли к выводам, что при совместном сжигании угля и твердых бытовых отходов наблюдалось уменьшение выброса CO в потоке. Кроме того, смешивание твердых бытовых отходов с углем помогло уменьшить выбросы SO<sub>2</sub> при сгорании. Выбросы HCl для всех смесей были

на низком уровне. Что касается эмиссии  $N_2O$ , то при повышении температуры наблюдался распад. По мере того, как увеличивалось соотношение смешивания, концентрации HCN были выше, чем у  $NH_3$ , и предполагалось, что оба они играют существенную роль в выработке азота на стороне газа во время совместного сгорания. Концентрации оттока NO доминировали во всех случаях совместного сгорания, которые увеличивались с повышением температуры [19].

Значительные объемы невостробованных ТБО являются определяющими для перспективы их сжигания в качестве добавок к композиционному жидкому топливу. Разработка эффективных технологий сжигания такого топлива характеризуется положительным экологическим и экономическим эффектом. Вот почему экспериментально обнаружены закономерности и необходимые условия для воспламенения составных капель жидкого топлива при конвективном и лучистом нагреве [20]. Топливо авторов [20] основывалась на кеках с фильтрами 10% типичного древесного сырья, резины, пластмассы, картона. Основные этапы были выделены для взаимозависимых физических и химических процессов: инертный нагрев капли; испарение влаги из подземного слоя, термическое разложение легковоспламеняющихся компонентов; смешивание горючих газов с окислителем; воспламенение и выгорание газовой смеси; нагрев твердого остатка, гетерогенное воспламенение и сгорание твердого остатка. При добавлении типичных твердых бытовых отходов в составное топливо это дает эквивалент количество энергии при сгорании, а концентрация основных антропогенных выбросов в газовых газах ниже. Полученные в [20] результаты являются основой для разработки процедур модернизации для технологий сжигания твердого и жидкого топлива, которые в настоящее время используются в теплоэнергетике для совместной утилизации твердых бытовых отходов. В частности, можно оптимизировать режимы работы тепловыделяющего оборудования, добавляя в топливо различные твердые горючие компоненты и регулируя их концентрацию [20].

Авторами [21] было исследовано влияние температуры газификации и смешанного соотношения на реакционную способность при совместной газификации и синергизм битуминозного угля и водорода, полученного из твердых бытовых отходов. Кроме того, активное преобразование щелочного и щелочноземельного металла во время совместной газификации количественно анализировали с помощью оптического эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой для корреляции синергизма с реакционной способностью совместной газификации. Результаты показали, что более высокая реакционная способность газификации обугливания существовала при более высокой пропорции обугливания твердых бытовых отходов и температуре газификации, и основное синергетическое поведение в отношении реактивности совместной газификации было выполнено как синергетический эффект. Более значительный синергетический эффект при более низкой температуре был обусловлен главным образом более явным ингибированием превращения активного Са. Слабый синергетический эффект при температуре еще сохранялся, поскольку более активный К с выраженным катализом сохранялся. Кроме того, более активные производные от твердых бытовых отходов, остающиеся в частицах битуминозного угля во время совместной газификации, могут привести к большему синергетическому эффекту с увеличением доли твердых бытовых отходов [21].

Ученые из Греции [22] провели совместное сжигание двух бытовых отходов (пищевых отходов и твердых бытовых отходов) с сельскохозяйственными отходами проводилось в установке с псевдоожиженным слоем для исследования термической эксплутации этих для производства энергии. Реакционная способность топлив была изучена с помощью термогравиметрического анализа, в то время как температурные профили, газообразные выбросы и эффективность сгорания были определены при различных условиях работы реактора с псевдоожиженным слоем. Материал пищевых отходов был очень гетерогенным, с более низкой

горючестью, чем твердые бытовые отходы, и значительным содержанием серы. Образцы отходов имели высокое содержание азота и были богаты кальцием и фосфором. Когда топлива смешивались с углем, они горели с более низкой скоростью и температурой, по сравнению с углем, в условиях псевдоожиженного слоя [22].

Авторы [23] установили, что возобновляемое твердое топливо (биомасса) и биотвердые отходы являются потенциальными источниками сырья для производства газообразного топлива. Термическая газификация и пиролиз являются наиболее перспективными конверсионными технологиями для крупных промышленных установок. Однако из-за низкой плотности биомассы совместная газификация и совместный пиролиз с углем обеспечат потенциальные преимущества биомассы и биотвердых отходов и сделают коммерческое производство газообразного топлива экономически выгодным. Технической задачей совместной газификации является очистка газа для удаления смол и других примесей ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$  и т.д.) для всех видов твердого топлива в качестве исходного сырья. Когда твердые отходы, такие как осушенный осадок сточных вод, добавляются к твердому топливу, необходимо учитывать разделение золы и обработку. Продукты пиролиза и совместного пиролиза углеродистых твердых веществ включают твердый уголь, биомасло и газы. Когда газы определены как целевой продукт, пиролиз должен работать при высоких температурах с высокой скоростью нагрева. Чтобы сделать производство экономически целесообразным, следует принять во внимание применение твердого полукокса и биомасла, а также разработать недорогие технологии переработки биомасла. Применение смешанного угля и золы может быть проблемой, которой следует уделять больше внимания в будущих исследованиях и разработках. Совместный пиролиз биотвердых отходов с биомассой или с углем в литературе не обнаружен, и это может стать областью для будущих исследований [23].

Авторы в [24] продемонстрировали, что совместное использование пищевых отходов и угля в соотношении 1: 1 является многообещающим



методом значительного увеличения высокой теплотворной способности (ВТС) до 31,4 МДж/кг. при одновременном снижении содержания золы до 2,2%. Термогравиметрический анализ показал, что сгорание пищевых отходов во время гидротермальной карбонизации снижает температуру воспламенения, и поэтому ко-гидротермальная карбонизация пищевых отходов и угля больше подходит для сжигания, имея высокую термостабильность. Гидрокарбонат ко-гидротермальной карбонизации обладает тем же преимуществом с низким содержанием золы, что и гидрокарбонат из пищевых отходов, сохраняя при этом высокое сгорание и ВТС угля. Меласса сыграла важную роль в образовании гранул для создания прочного моста между пищевыми отходами и углем путем перекристаллизации, и, таким образом, смесь при 300°C показала наивысшую прочность на разрыв 4,5 МПа. Далее было продемонстрировано, что совместное смешивание пищевых отходов с углем является реальным вариантом для гидротермальной карбонизации превращения в гидрокарбонат и продукты, имеющие высокий выход энергии и массовую плотность. Поэтому для бытовых применений рекомендуется использовать ко-гидротермальную карбонизацию из пищевых отходов и угля при температуре 300°C [24].

Авторы в [25] изучили пути образования полихлорированных дибензо- *n*- диоксинов (ПХДД) и - фуранов (ПХДФ) при совместном сжигании твердых бытовых отходов и угля. Авторы [25] выяснили, что большинство ПХДД/Ф концентрируются на летучей золе, потому что гетерогенное каталитическое образование в основном происходит на поверхности частиц летучей золы. ПХДД/Ф в дымовых газах образуются в результате гомогенного синтеза при высокой температуре и десорбции летучей золы. Углерод индуцируемый углем, увеличивает адсорбционную способность частиц летучей золы для ПХДД/Ф, но способствует образованию углеродных матриц и полициклических ароматических углеводородов, которые значительно ускоряют синтез *de novo* по мере

увеличения количества вводимого хлора и каталитических металлов. Хлор в топливе, вызванном главным образом твердыми бытовыми отходами, должен надлежащим образом контролироваться, приводят авторы [25], поскольку он будет в значительной степени способствовать гомогенному синтезу и гетерогенному каталитическому образованию ПХДД/Ф [25].

Твердые бытовые отходы являются перспективным сырьем для производства биобутанола, поскольку в нем содержится большое количество лигноцеллюлозных волокон, таких как бумага, древесина и пищевые отходы, около 50 мас.% От обычного потока твердых бытовых отходов. В исследовании оценивается производство ацетона, бутанола, этанола и водорода из автоклавного сырья для твердых бытовых отходов. Оценка жизненного цикла проводится для оценки процесса производства ацетона, бутанола, этанола и водорода с учетом когенерации тепла и энергии из остаточных биогенных отходов на основе экспериментальных данных и моделирования процесса. Выход продукта из ацетона, бутанола и этанола может быть достигнут при 12,2 кг бутанола, 1,5 кг этанола, 5,7 кг ацетона и 0,9 кг водорода на тонну ТБО. Выход продукта является относительно низким по сравнению с другими видами лигноцеллюлозного сырья, главным образом из-за более низкого выхода гидролиза (38% для глюкозы), достигнутого в [26].

Коммерческое расширение системы газификации твердых бытовых отходов ограничено низким качеством синтез-газа, особенно из-за низкой теплотворной способности и высокого содержания смолы и HCl. В [27] была разработана инновационная трехступенчатая система совместной газификации твердых бытовых отходов с углем с высоким содержанием щелочи. Смоделированные твердые бытовые отходы были пиролизированы на первой стадии, а неочищенный синтез-газ был частично окислен на второй стадии, а затем на последней стадии восстановлен углем с высоким содержанием щелочного угля для получения высококачественного синтез-газа. Авторами [27] было выявлено, что эффективность удаления HCl

снижалась с ростом температуры восстановления, что указывает на то, что более высокая температура неблагоприятна для дехлорирования соединений на основе Са в качестве абсорбентов HCl. При использовании угольного угля с высоким содержанием щелочи качество синтез-газа может быть значительно улучшено, и при этом концентрация HCl может контролироваться до низкого уровня. Более высокая температура восстановления (более 800°C) была бы неблагоприятной для каталитического крекинга гудрона и эффекта дихлорирования полукокса высокощелочного угля, вызванного плавлением соответствующих хлоридов металлов. Рентгеноструктурный анализ подтвердил, что большая часть HCl в синтез-газе ассимилировалась CaO и MgO, и CaO играет основную роль в удалении HCl [27].

Авторами [28] установлено, что технология сжигания на решетке является одной из широко используемых технологий сжигания твердых бытовых отходов, которая восстанавливает энергию и в значительной степени уменьшает объем твердых отходов для захоронения на свалках. В мусоросжигательных установках с решеткой твердые отходы упаковываются в топливный слой на решетке, где происходит основная гетерогенная конверсия. В отличие от угля или биомассы, приготовленных для сжигания, твердые бытовые отходы, подаваемые в реальные мусоросжигательные заводы, часто имеют сильно неоднородные, а также довольно большие размеры частиц. Размер частиц топлива может влиять на процесс сгорания в уплотненном слое с помощью различных способов, таких как тепло- и массообмена между газовой фазой и твердой фазой, интенсивности излучения внутри слоя, турбулентной дисперсии энергетических и газовых видов в пористом слое, и скорость испарения влаги. Сообщается, что более крупные частицы могут способствовать более раннему воспламенению. Частицы размером 15 мм достигают максимальной скорости воспламенения для размеров частиц в диапазоне 5–25 мм. С точки зрения моделирования, влияние размеров частиц отражается в эффективной теплопроводности,

которая сочетает в себе проводимость газа и твердого тела, радиационный поток и турбулентность в потоке воздуха [28].

Авторы [29] обнаружили, что использование твердых бытовых отходов вместо угля для производства электроэнергии дает более неоднозначные климатические преимущества. Эффективность прямого преобразования отходов в электроэнергию является относительно низкой, и использование отходов в качестве топлива исключает частичное улавливание содержания углерода в отходах на свалке, а также возможность извлекать и использовать свалку  $\text{CH}_4$  в качестве топлива. Существенная неопределенность в отношении процессов разложения свалок ставит дополнительные вопросы о климатических преимуществах использования отходов для производства электроэнергии. Новые технологии газификации немного повысить эффективность преобразования производства электроэнергии и облегчить использование труднообрабатываемого топлива, включая твердые бытовые отходы [29].

В [30] изучались трансформация и миграция кадмия при химическом циклическом сжигании и газификации твердых бытовых отходов на основе меди и железа во время циклического сжигания и газификации твердых бытовых отходов. Как на основе меди, так и на основе железа могут вызывать валентное превращение кадмия, превращая  $\text{Cd (g)}$  в  $\text{CdO}$ , но их продуктам полного восстановления не хватало этой способности. Авторы [30] установили, что кадмий распределялся главным образом в материале слоя во время циклического сжигания, но распространялся главным образом в летучей золе во время газификации. Динамические изменения в распределении кадмия показали, что кадмий в значительной степени улетучивался из частиц твердых бытовых отходов и мигрировал в частицы кислородных носителей на начальной стадии циклического сжигания и газификации. Но образующийся позднее восстановительный газ может снова восстановить  $\text{CdO}$  в  $\text{Cd (g)}$  во время газификации, вызывая постепенное снижение концентрации кадмия в частицах кислородного носителя [30].

Совместное сжигание твердых бытовых отходов с углем не только обеспечивает хороший метод утилизации твердых бытовых отходов, но и экономит использование угля. Авторами [31] были выявлены положительные характеристики совместного сжигания с точки зрения выбросов и качества летучей золы были выявлены при различных уровнях смешивания твердых бытовых отходов. Более низкий коэффициент смешивания твердых бытовых отходов может привести к снижению выбросов СО при совместном сжигании с углем. При высоких соотношениях смешивания уровни выбросов SO<sub>2</sub> были ниже теоретических. Выбросы HCl для всех смесей были на низком уровне, несмотря на высокое содержание хлора в твердых бытовых отходах [31].

Авторы [32] установили, что гидротермальная обработка твердых бытовых отходов может привести к получению порошкообразного твердого топлива, которое легко смешивать и сжигать с углем. Температура воспламенения смесей на основе угля и твердых бытовых отходов демонстрируют сильную зависимость от количества энергии, выделяющейся при летучем сгорании [32]. Смешивание твердых бытовых отходов с углем всегда улучшает обезвоживающие свойства угля [33]. Процесс пиролиза и удаления летучих веществ дает мало информации или вообще не дает информации о влиянии смешивания твердых бытовых отходов с углем на характеристики совместного сгорания. Поэтому пиролизного теста недостаточно, чтобы предсказать поведение совместного сгорания.

Как показано в [9] в одном только состоянии угля летучая зола состояла в основном из сферических частиц разных размеров. Поверхность летучей золы была относительно плоской, а форма была относительно правильной, и лишь несколько мелких частиц были прикреплены к поверхности летучей золы. С добавления твердых бытовых отходов образовалось больше нерегулярных частиц, и поверхность летучей золы становилось более негладкой. При увеличении концентрации твердых бытовых отходов поверхность летучей золы становилось шероховатой из-за

конденсации и укладки мелких частиц генерируется с помощью совместного сжигания [9]. Также авторы [9] выявили, что влияние добавления твердых бытовых отходов на температуру горения летучей золы было незначительным, и характеристики шлакообразования летучей золы не были серьезно затронуты [9].

### **Выводы по первой главе**

1. Анализ мирового опыта применения смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов в качестве энергетического сырья показывает, что отсутствует общая теория применения таких топлив для сжигания на тепловых электрических станциях.

2. Установлено, что большой интерес к исследованиям возможности перевода ТЭС на сжигания смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов связан с попыткой решения мировым сообществом глобальной проблемы снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, а также уменьшения объемов привозных закупаемых энергетических ресурсов, частичной их замены бытовыми отходами.

3. Результаты проведенного анализа подтверждают актуальность проведения экспериментальных исследований основных свойств смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов при ее различных концентрациях с целью определения возможности использования таких топлив на тепловых электрических станциях.

## **2 Методики экспериментальных исследований смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов**

### **2.1 Методика приготовления смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов**

Проведение экспериментальных исследований начиналось с подготовки топлива. Эксперименты проводились в лабораторных условиях при температуре окружающей среды 20 °С, давлении 101,4 кПа и влажности 75%.

Для приготовления смесевых топлив в качестве основных компонентов использовались уголь и в качестве второй компоненты использовались бытовые отходы: пищевые отходы, пластик и бумага.

При подготовке экспериментов использовался уголь, размолотый до мелкодисперсного состояния.

Смесевые топлива формировались при разных объемных концентрациях бытовых отходов и угля в компонентном соотношении 30% / 30% / 40%; 40% / 20% / 40%; 50% / 10% / 40%.

Достаточно очевидно, что энергетический потенциал любых композиций с добавлением бытовых отходов будет ниже угля, являющегося основной компонентой. Цена угля любого месторождения составляет от 900 до 4000 рублей за тонну, в то время как бытовые отходы практически ничего не стоят. Поэтому для обоснованных выводов о возможности практического использования смесевых топлив необходимы в свою очередь установленные в экспериментах численные значения теплотехнических характеристик таких топлив.

### **2.2 Методика определения времени задержки зажигания и средних размеров смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов**

На рисунке 2.1 представлена схема экспериментальной установки, на которой были проведены экспериментальные исследования. Полая

керамическая трубка нагревалась до высоких температур (до 1000 °С). На металлическом держателе крепилась смесь на основе угля и бытовых отходов, впоследствии попадающая в трубку. Определение изменений во времени основных характеристик исследуемого процесса возможно во время регистрирования положения смеси и ее размеров. С помощью специальной камеры Photron FASTCAM SA1.1 скорость видеосъемки которой 67500 кадров/с были зафиксированы стадии воспламенения смеси.

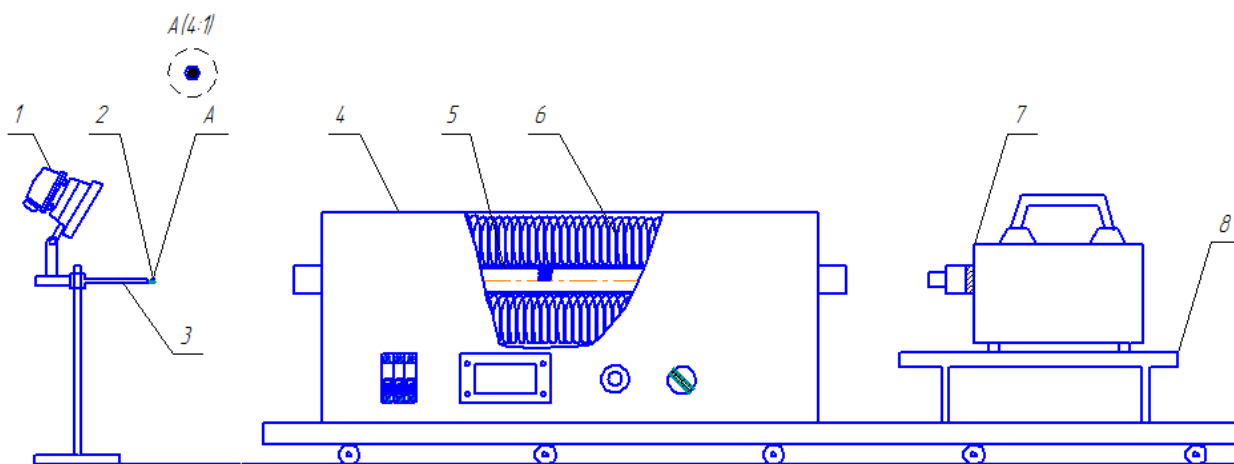


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки

1 – прожектор 2 – частица льда 3 – металлический держатель 4 – нагревательный элемент 5 – керамическая трубка 6 – муфельная печь 7 – высокоскоростная видеокамера 8 – движущаяся платформа.

На камеру фиксировалось время начала теплового воздействия (момент попадания в полость цилиндра) и время начала зажигания (появление первого очага) для определения времени задержки зажигания:

$$t_{з.з.} = \frac{t_{п} - t_{н}}{f} \quad (2.1)$$

Где,  $t_{з.з.}$  – время задержки зажигания, с;

$t_{п}$  – время начала зажигания, с;

$t_{н}$  – время начала теплового воздействия, с;



$f$  – частота кадров в секунду.

Средние размеры смеси рассчитывались по формуле:

$$L_{\text{ср}} = \frac{L_{\text{Г}} + L_{\text{В}}}{2} \quad (2.2)$$

Где,  $L_{\text{ср}}$  – средний размер смеси, мм;

$L_{\text{Г}}$  – горизонтальный размер смеси, мм;

$L_{\text{В}}$  – вертикальный размер смеси, мм.

Размеры смеси варьировались в диапазоне  $0,8 < \delta < 4$  мм. Количество серий в каждом эксперименте составляет 10.

### **Выводы по второй главе**

1. Рассмотрена методика, позволяющая проводить экспериментальные исследования состава и свойств смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов, необходимая для оценки возможности их использования в качестве топлив ТЭС.

2. Эксперименты на основе выбранной методике обеспечивает возможность определения основных технических и энергетических характеристик смесевых топлив на основе угля и бытовых отходов.

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1 Предпроектный анализ**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для выполнения анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – это сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых потребуется определенный товар. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция и др.

Предположим, что целевым рынком для данной работы является ТЭЦ.

Экспериментальные исследования проводились с использованием муфельной электропечи. Прибор необходим для термической обработки, а также хранения разнообразных образцов и материалов в определенных температурных условиях.

#### **4.1.2 Анализ конкурентных решений**

Ввиду динамичности рынка, необходимо систематически производить анализ конкурирующих разработок.

Анализ конкурентных технических решений необходимо проводить с целью внесения коррективов в научное исследование. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны конкурентов.

В данном случае конкурентами могут являться разработки композитного топлива на основе угля и древесины (К1).

Экспертная оценка основных технических характеристик данных продуктов представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
			Бф	Бк1	Кф	К1
	1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>						
1	Энергоэффективность	0,2	4	4	0,8	0,8
2	Влияние на окружающую среду	0,08	4	3	0,032	0,024
3	Энергоэкономичность	0,1	4	4	0,4	0,4
4	Надежность	0,07	5	4	0,035	0,028
5	Возможность моделирования	0,1	3	3	0,3	0,3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>						
1	Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	0,4	0,4
2	Уровень проникновения на рынок	0,15	4	3	0,6	0,45
3	Затраты на материалы	0,2	4	4	0,8	0,8
	Итого	1	37	35	<b>3,367</b>	<b>3,202</b>

Как видно из таблицы 1 данное исследование более перспективны, чем конкурентные разработки.

#### **4.1.3 SWOT-анализ**

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые

проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
	<p>С1.Высокая экономичность и энергоэффективность смеси.</p> <p>С2.Незначительное воздействие на окружающую среду.</p> <p>С3.Более низкая стоимость материала.</p>	<p>СЛ1. Сложность измельчения до неоднородности, в связи с различными видами бытовых отходов</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Сокращение выбросов вредных веществ в окружающую среду</p> <p>В2. Утилизация бытовых отходов</p>	<p>Помощь бюджетирования позволит уменьшить себестоимость производства, в связи с чем, увеличится спрос на продукт.</p>	<p>В случае появления дополнительного спроса на продукт может повлечь за собой увеличение комплектующих материалов, что приведет к увеличению срока поставок.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2.Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p>	<p>Низкая себестоимость продукта позволит конкурировать на рынке.</p> <p>Высокие показатели эффективности и экономичности в будущем позволят пройти более жесткие требования государственных ограничений.</p>	<p>Отсутствие прототипа научной разработки не позволит экспортировать продукт, в ближайшее время.</p>

## 4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать, и влиять на общий результат научного проекта.

### 4.2.1 Цели и результаты проекта

В данном разделе приводится информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидание заинтересованных сторон</b>
ТЭЦ	Уменьшение антропогенных выбросов, утилизация бытовых отходов
НИ ТПУ	Участие в конференциях, публикации в высокорейтинговых статьях

В таблице 4.4 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.4 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Произвести экспериментальное и теоретическое исследования процессов воспламенения и горения существенно неоднородных био-водоугольных смесей на основе твердых бытовых отходов.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Результаты сжигания био-водоугольных смесей соответствуют результатам сжигания угля на ТЭЦ.
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Сравнение полученных результатов с эксплуатационным опытом Предоставление методики выполнения исследований, полнота и объективность данных, структурированное изложение результатов проекта.
<b>Требования к результату проекта:</b>	Требование:
	Результаты проекта эффективны в использовании.

#### 4.2.2 Организационная структура проекта

На этапе организационной структуры работы проекта решались следующие вопросы: определить, кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Данная информация представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Сыродой Семён Владимирович	Руководитель	Координация деятельности проекта	24

	к.т.н., научный сотрудник			
2	Альжанов Алимжан Уралович, НИ ТПУ, отделение ИШЭ, магистрант	Исполнитель	Выполнение работ по проекту	540

### 4.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 4.6).

Таблица 4.6 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
4.2.3.1 Бюджет проекта	220000 рублей
4.2.3.1.1 Источник финансирования	НИ ТПУ
4.2.3.2 Сроки проекта	01.01.2018 – 31.05.2019
4.2.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	12.12.2018
4.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2019

## 4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

### 4.3.1 План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представляется в виде таблицы (табл. 4.7).

Таблица 4.7 – Календарный план проекта в рабочих днях

<b>Код работы (из ИСР)</b>	<b>Название</b>	<b>Длительность, дни</b>	<b>Дата начала работ</b>	<b>Дата окончания работ</b>	<b>Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)</b>
1.1	Разработка технич. задания	4	1.02.19	5.02.19	Сыродой С.В.
2.1	Подбор и изучение материалов по теме	20	6.02.19	3.03.19	Альжанов А.У.
1.2	Выбор напр. исследования	2	4.03.19	6.03.19	Сыродой С.В., Альжанов А.У.
1.3	Календарное планирование работ	2	7.03.19	10.03.19	Сыродой С.В., Альжанов А.У.
2.2	Проведение теоретических расчетов и обоснований	11	11.03.19	23.03.19	Альжанов А.У.
2.3	Проведение экспериментов	41	24.03.19	13.05.19	Альжанов А.У.
3.1	Оценка и обсуждение результатов	4	14.05.19	17.05.19	Сыродой С.В., Альжанов А.У.
3.2	Оформление отчета	10	18.05.19	31.05.19	Альжанов А.У.
<b>И т о г о:</b>		94			



Таблица 4.8 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1.1	Разработка технич. Задания	Руководитель	3	■													
2.1	Подбор и изучение материалов по теме	Магистрант	20	■	■	■											
1.2	Выбор напр. исследования	Руководитель, магистрант	5				■	■									
1.3	Календарное планирование работ	Руководитель, магистрант	3				■	■									
2.2	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Магистрант, эксперт	11					■	■	■							
2.3	Проведение экспериментов	Магистрант	38							■	■	■	■	■	■		
3.1	Оценка и обсуждение результатов	Руководитель, магистрант	4												■	■	
3.2	Оформление отчета	Магистрант	12												■	■	■

■ – руководитель; ■ – магистрант

#### 4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

Таблица 4.9 – Материальные затраты на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Материальные затраты	Ед. изм.	Объем потребления	Тариф, руб/ед.	Итого, руб.
Электроэнергия: – освещение	кол. часов. работы x потреб. мощн.	350ч. x 100 Вт = 35 кВт·ч	5.8 кВт/ч	203
Кухонные весы Аксион ВКЕ-21	шт	768,8 гр	570	570
Бумага белая формата А4	упаковка, шт	-	350	350
Итого:				1123 руб.

#### Стоимость экспериментальной установки

Задачи проекта решаются на базе оборудования, находящегося в 4 корпусе НИ ТПУ. Главным объектом развития и оптимизации технологии является экспериментальная установка, состоящая из нескольких основных ступеней:

1. Высокотемпературная печь НОВАТЕРН
2. Дополнительные детали
3. Координатное устройство
4. Объектив Nikon Nikkor AF 80-200mm F/4.5-5.6 D ED VR
5. Вытяжная вентиляция

## 6. Компьютер

Таблица 4.10 – Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

№ п/п	Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт
1	Дополнительные детали	10000	-
2	Координатное устройство	19000	1
3	Вытяжная вентиляция	36000	1
4	Компьютер	25000	1
Итого		90000	

Вследствие того, что стоимость на печь и объектив камеры выше 40 тыс.руб., то нужно посчитать амортизацию.

Учитывая тот факт, что объектив камеры и печь работали всегда одновременно, то амортизация рассчитывается как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} * C_{\text{кт}} * \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ руб/год}, \quad (4.1)$$

где  $T_{\text{исп.кт}}$  – время использования высокотемпературной печи;

$T_{\text{кал}}$  – календарное время;

$C_{\text{кт}}$  – цена оборудования;

$T_{\text{сл}}$  – срок службы установки.

$$K_{\text{ам}} = \frac{94}{365} * 80000 * \frac{1}{5} = 4120,6 \text{ руб/год},$$

$$K_{\text{ам}} = \frac{94}{365} * 45000 * \frac{1}{5} = 2317,8 \text{ руб/год}$$

Таблица 4.11 – Амортизационные затраты

№ п/п	Наименование	Стоимость, руб	Количество
1	Высокотемпературная печь НОВАТЕРН	4120,6	1
2	Объектив Nikon Nikkor AF 80-200mm F/4.5-5.6 D ED VR	2317,8	1
Итого		6438,4	

Общая стоимость на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ составляет 96438,4 руб.

### **Основная заработная плата**

В данной НИР включается основная заработная плата научного руководителя и студента магистранта. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется «Положением об оплате труда»). Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.2)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.3)$$

где,  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дп}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{43764,32 * 10,4}{251} = 1813,34$$

$$Z_{\text{дп}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{16\,463,2 * 10,4}{251} = 682 \quad (4.4)$$

где,  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 4.12).

Месячный должностной оклад работника вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.5)$$

где,  $Z_{\text{б}}$  – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томск).

На настоящем этапе сформирована команда из ключевых специалистов во главе с руководителем, имеющим опыт реализации подобных проектов. Расчёт стоимости их услуг представлен в таблице ниже:

Таблица 4.12– Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Расчёт основной заработной платы исполнителей системы выбирается на основе системы оплаты труда в ТПУ (для руководителя). Для исполнителя (магистра) предусматривается расчёт оплаты труда исходя из системы оплаты труда предприятия.

Таблица 4.13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_p$	$Z_{м}$ , Руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	33664,86	-	-	1,3	43764,32	1813,34	4	7253,36
Магистрант	12664	-	-	1,3	16463,2	682	90	61380

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.6)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.14 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.14 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Научный руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	7253,36	61380
Дополнительная зарплата,	725,34	6138
Зарплата исполнителя	7978,7	67518
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	75496,7	

Отчисления на социальные нужды включают в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.7)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) равен 27,1%.

$$C_{\text{внеб}} = 0,271 * (68633,36 + 6863,34) = 20459,6 \text{ руб}$$

Таблица 4.15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель по категориям	Зар.плата,руб.	Отчисления, руб.
---------------------------	----------------	------------------

Руководитель	7253,36	1965,7
Магистрант	61380	16633,98
Итого:	68633,36	18599,7



## Накладные расходы

Накладные расходы состоят из затрат на управление и хозяйственное обслуживание. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.8)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов 30%.

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (68633,36 + 6863,34) = 22649 \text{ руб.}$$

Таблица 4.16– Бюджет затрат НТИ

№	Статьи						
	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Дополнительная заработная плата	Итого плановая себестоимость
1	1123	96438,4	68633,36	22649	20459,6	6863,34	<b>216166,7</b>

## 4.5 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (табл. 4.17).

Таблица 4.17 – Реестр риска проекта

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Экономический кризис	Отсутствие бюджетного финансирования	2	2	<b>Низкий</b>	Прогнозирование экономической ситуации	Непредвиденная экономическая остановка
2	Невостребованность исследований	Нет развития	2	5	<b>Средний</b>	Популяризация данного исследования	Незаинтересованность потребителей

#### 4.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (4.9)$$

где  $I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (4.10)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 4.18.

Таблица 4.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	4	3
2. Влияние на окружающую среду	0,25	4	2
3. Энергосбережение	0,3	5	3
4. Надежность	0,25	4	4
ИТОГО	1	26	19

$$I_T^p = 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,25 = 4,3$$

$$I_{T1}^a = 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,25 = 3$$

$$I_\Phi^p = \frac{\Phi_i^p}{\Phi_{\max}} = \frac{80000}{216166,7} = 0,37; I_\Phi^a = \frac{\Phi_i^a}{\Phi_{\max}} = \frac{40000}{216166,7} = 0,19$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{финр}^p$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_T^p}{I_\Phi^p} = \frac{4,3}{0,37} = 11,6; I_{финр}^a = \frac{I_T^a}{I_\Phi^a} = \frac{3}{0,19} = 15,8$$

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} = \frac{11,6}{15,8} = 0,73$$

Таблица 4.19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,19	0,37
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	15,8	11,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,73	

### Выводы по четвертой главе

Несмотря на достаточно высокие затраты для реализации данного проекта, создание экспериментальной базы является целесообразной задачей. Процессы воспламенения и горения смешанных топлив на основе угля и бытовых отходов малоизучены и, следовательно, будут являться довольно востребованными, так как такие смеси значительно снижает антропогенные выбросы и утилизирует бытовые отходы.

## Заключение

Био-водоугольный композит – это смесевое топливо на основе угля и твердых бытовых отходов. Смесевые топлива являются одним из решений экологических и экономических проблем проявляемых при сжигании угля.

Основные результаты и выводы диссертационной работы:

- Был рассмотрен мировой опыт использования смесевых топлив на основе угля и твердых бытовых отходов.
- Разработана методика расчета зависимости времен задержки зажигания от средних размеров смесевых топлив.
- Экспериментально определены процессы воспламенения смесевых топлив при различных компонентных соотношениях (30% / 30% / 40%; 40% / 20% / 40%; 50% / 10% / 40%) и при различных температурах (600, 800 и 1000 °С).

## Список литературы

1. Alessandro Franco, Ana R. Diaz. The future challenges for “clean coal technologies”: Joining efficiency increase and pollutant emission control. Dipartimento d’Energetica “L. Poggi”, Università di Pisa, Via Diotisalvi 2, 56126 Pisa, Italy Received 13 January 2008, Available online 17 November 2008, Volume 34, Issue 3, March 2009, Pages 348–354.

2. Долгушин И.А. Исследование и совершенствование схемы ТЭС с котлом ЦКС для повышения эффективности и улучшения экологических показателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. -М., 2014.-166 с.

3. Termuehlen H, Empsperger W. Clean and efficient coal fired power plants. New York: ASME Press; 2003 <https://www.asme.org>.

4. Закон РФ от 21.02.1992 N 2395-1 (ред. от 31.05.2018) «О недрах»

5. Энергетическая стратегия на период до 2020 года (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 1234-р от 28 августа 2003 года).

6. Федюхин А.В. Разработка комбинированной выработки тепловой и электрической энергии на основе исследования процессов пиролиза и газификации биомассы: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14. -М., 2014. -157 с.

7. Lingyun Zhang. Driving factors and predictions of CO<sub>2</sub> emission in China's coal chemical industry / Lingyun Zhang, Qun Shen, Minquan Wang // Journal of Cleaner Production – 2019. V.210. –P. 1131-1140.

8. Структура угольной отрасли. Министерство энергетики РФ. <http://minenergo.gov.ru>.

9. Shaorui Zhang. Influence on gaseous pollutants emissions and fly ash characteristics from co-combustion of municipal solid waste and coal by a drop tube furnace / Shaorui Zhang, Xiaoqing Lin, Zhiliang Chen // Waste management – 2018. V.81. – P. 33-40.

10. <https://vtorothody.ru/othody/chto-takoe-tbo.html>

11. Nana Peng. Emission, distribution and toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during municipal solid waste (MSW) and coal co-combustion / Nana Peng, Yi Li, Zhengang Liu, Tingting Liu, Chao Gai // *Science of The Total Environment* – 2016. V. 565 – P. 1201-1207.
12. Zalmanov L.R., Moryakov P.V. *Energetik*, 2001. 11, pp. 38–40.
13. Kononenko P.I., Mikhayluts V.G. *Energetik*, 2007. 3, pp. 43–44.
14. Kunio Yoshikawa. The effect of coal alternative fuel from municipal solid wastes employing hydrothermal carbonization on atmospheric pollutant emissions in Zimbabwe / Andile B. Maqhuzu, Kunio Yoshikawa, Fumitake Takahashi // *Science of the Total Environment* – 2019. V. 668 – P. 743-759.
15. Liang Lu. Nitrogen evolution during the co-combustion of hydrothermally treated municipal solid waste and coal in a bubbling fluidized bed / Liang Lu, Yuqi Jin, Hongmei Liu, Xiaojun Ma, Kunio Yoshikawa // *Waste Management* – 2014. V. 34 – P. 79-85.
16. Yan Zhao. Environmental impact assessment of the incineration of municipal solid waste with auxiliary coal in China / Yan Zhao, Wei Xing, Wenjing Lu, Xu Zhang, Thomas H. Christensen // *Waste Management* – 2012. V. 32 – P. 1989-1998.
17. Mark D. Gibson. Evaluating the potential of waste plastics as fuel in cement kilns using bench-scale emissions analysis / Ebenezer A. Asamany, Mark D. Gibson, Michael J. Pegg // *Fuel* – 2017. V. 193 – P. 178-186.
18. Dmitrii Glushkov. Municipal solid waste recycling by burning it as part of composite fuel with energy generation / Dmitrii Glushkov, Kristina Paushkina, Dmitrii Shabardin, Pavel Strizhak, Nadezhda Gutareva // *Journal of Environmental Management* – 2019. V. 231 – P. 896-904.
19. Liang Lu. Numerical and experimental investigation on co-combustion characteristics of hydrothermally treated municipal solid waste with coal in a fluidized bed / Liang Lu, T. M. Ismail, Yugi Jin, M. Abd El-Salam, Kunio Yoshikawa // *Fuel Processing Technology* – 2016. V. 154 – P. 52-65.



20. Dmitrii Glushkov. Environmental aspects of converting municipal solid waste into energy as part of composite fuels / Dmitrii Glushkov, Kristina Paushkina, Dmitrii Shabardin, Pavel Strizhak // *Journal of Cleaner Production* – 2018. V. 201 – P. 1029-1042.

21. Juntao Wei. Co-gasification of bituminous coal and hydrochar derived from municipal solid waste: Reactivity and synergy / Juntao Wei, Qinghua Guo, Qing He, Lu Ding, Kunio Yoshikawa, Guangsuo Yu // *Bioresource Technology* – 2017. V. 239 – P. 482-489.

22. Despina Vamvuka. Evaluation of municipal wastes as secondary fuels through co-combustion with woody biomass in a fluidized bed reactor / Despina Vamvuka, Stelios Alexandrakis, Ioannis Papagiannis // *Journal of the Energy Institute* – 2019. V. 575.

23. Shusheng Pang. Fuel flexible gas production: biomass, coal and bio-solid wastes / Shusheng Pang // *Fuel Flexible Energy Generation* – 2017 – P. 241-269.

24. Najam Ul Saqib. Effect of temperature on the fuel properties of food waste and coal blend treated under co-hydrothermal carbonization / Najam Ul Saqib, Ajit K. Sarmah, Saeid Barourtian // *Waste Management* – 2019. V. 89 – P. 236-246.

25. Zhiliang Chen. Formation pathways of PCDD/Fs during the Co-combustion of municipal solid waste and coal / Zhiliang Chen, Xiaoqing Lin, Shengyong Lu // *Chemosphere* – October 2018. V. 208 – P. 862-870.

26. Fanran Meng. Process simulation and life cycle assessment of converting autoclaved municipal solid waste into butanol and ethanol as transport fuels / Fanran Meng, Roger Ibbett, Truus de Vrije // *Waste Management* – 2019. V. 89 – P. 177-189.

27. Binhang Hu. Co-gasification of municipal solid waste with high alkali coal char in a three-stage gasifier / Binhang Hu, Qunxing Huang, Alfons Buekens // *Energy Conversion and Management* – 2017. V. 153 – P. 473-481.

28. Tianbao Gu. Municipal solid waste incineration in a packed bed: A comprehensive modeling study with experimental validation / Tianbao Gu, Chungun Yin, Wenchao Ma, Guanyi Chen // *Applied Energy* – 2019. V. 247 – P. 127-139.

29. Roger Sathre. Climate effects of electricity production fueled by coal, forest slash and municipal solid waste with and without carbon capture / Roger Sathre, Leif Gustavson, Nguyen Le Truong // *Energy* – 2017. V. 122 – P. 711-723.

30. Peng Chen. Transformation and migration of cadmium during chemical-looping combustion / gasification of municipal solid waste / Peng Chen, Xiaoqing Sun, Minggang Gao // *Chemical Engineering Journal* – 2019. V. 365 – P. 389-399.

31. Yuqi Jin. Effects of blending hydrothermally treated municipal solid waste with coal on co-combustion characteristics in a lab-scale fluidized bed reactor / Yuqi Jin, Liang Lu, Xiaojun Ma // *Applied Energy* – 2013. V. 102 – P. 563-570.

32. Marisamy Mutharaman. A comparative study on co-combustion performance of municipal solid waste and Indonesian coal with high ash Indian coal: A thermogravimetric analysis / Marisamy Mutharaman, Tomoaki Namioka, Kunio Yoshikawa // *Fuel Processing Technology* – 2010. V. 91 – P. 550-558.

33. Marisamy Mutharaman. Characteristics of co-combustion and kinetic study on hydrothermally treated municipal solid waste with different rank coals: A thermogravimetric analysis / Marisamy Mutharaman, Tomoaki Namioka, Kunio Yoshikawa // *Applied Energy* – 2010. V. 87 – P. 141-148.

34. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

35. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов и безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

36. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

37. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
38. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
39. ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования
40. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
41. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
42. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
43. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий"
44. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
45. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
46. ГОСТ 31913-2011 Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения.
47. Руководство по эксплуатации. Электродпечь сопротивления камерная.
48. ГОСТ Р 52084-2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия.

## Приложение (А)

Раздел (номер раздела)

Study of the conditions and characteristics of ignition of bio-water-coal mixtures  
based on municipal solid waste

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ73	Альжанов Алимжан Уралович		

Консультант школы отделения (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Сыродой Семен Владимирович			

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы: ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черемисина Харрер Инна Алексеевна	к.ф.н., доцент		

## 1 ANALYSIS OF WORLD EXPERIENCE OF BURNING MIXED FUEL, BURNING BASED ON COAL AND MUNICIPAL SOLID WASTE

In recent decades, active research has been conducted on newer, more environmentally friendly fuels compared to traditional ones [1-3]. One of such composites is a bio-coal-water composite based on coal and municipal solid waste. [4–6].

The authors [9] found that when using mixed fuel, the concentrations of CO and CH<sub>4</sub> emissions are low under all conditions. With an increase in the share of municipal solid waste, the combustion efficiency slightly decreases [9]. Various operating conditions in the actual recycling process also have a big impact on the performance of the furnace, for example, the waste injection position. With increasing concentrations of municipal solid waste in mixed fuels, HCl emissions increased, but this effect was insignificant with a lower concentration of municipal solid waste.

The authors [20] argue that the disposal of municipal solid waste by burning and the production of heat and electricity is an intermediate stage between the incineration of waste (without energy production) and the reuse of waste as raw materials. That is why the development and introduction of fundamentally new technologies and the construction of new industrial facilities that will be used within a relatively short period of time (10-15 years) is not economically feasible. The technology of obtaining heat and electricity from the combustion of synthesis gas is characterized by a minimum content of harmful substances (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) in flue gases; their concentration does not exceed that observed when burning natural gas. Therefore, from the point of view of environmental indicators, the combustion efficiency of synthesis gas obtained by gasification of municipal solid waste is higher than when burning typical composite liquid fuels with such waste added as fine solid components. However, at present, the practical use of syngas production technologies is limited: “The major barrier that has prevented the widespread uptake of advanced gasification technologies for treating municipal

solid waste has been the higher ash content in the feed making the gasification operation difficult. In addition, high amounts of tar and char contaminants in the produced gas make it unsuitable for power production using energy efficient gas engines or turbines” [20]. Also, the authors of [20] state that from the point of view of the negative impact on the environment, municipal solid waste is the most dangerous as industrial disposal technologies are underdeveloped. The use of synthesis gas in thermal power engineering instead of the widely spread solid fossil fuels or liquid composite fuels will entail the implementation of costly supplementary procedures to add an industrial waste gasification unit into the process or install piping and tanks for transporting and storing syngas produced at the facilities. Some measures are also required to comply with explosion and fire safety standards. In addition, gasification of municipal solid waste is a fairly energy-intensive technology. That is why the disposal of municipal solid waste by combustion as composite liquid fuel additives is a practicable and promising approach [20].

Researchers from China [11] found that co-incineration of municipal solid waste with coal gives the least amount of total polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and has the lowest toxicity equivalent factor (TEF) compared to the separate incineration of municipal solid waste and coal. When solid household wastes and coal were burned together, there was an interaction in which the formation of PAH was suppressed and the TEF indicators decreased [11]. Also in [11], it was found that the highest yields of total PAHs were obtained as a result of the incineration of municipal solid waste, followed by the burning of coal and the co-incineration of municipal solid waste and coal at various temperatures. Higher temperatures contributed to the formation of PAHs, while 3- and 4-ring PAHs dominated PAH. Based on the distribution, the formed PAHs were mainly present in the flue gases, and the fly ash contained more PAHs with a higher ring than the ash residue and flue gas. The toxicity of PAHs during co-incineration of municipal solid waste and coal was significantly lower than when burning only coal and municipal solid waste. Synergistic interactions occurred between municipal solid

waste and coal during co-incineration, which led to a significant suppression of the formation of PAHs, especially for highly toxic PAHs with a high ring content. The present study showed that the reduction of emissions and toxicity of PAHs can be achieved through the co-incineration of municipal solid waste and coal.

The authors [14] argue that using mixed fuels based on coal and municipal solid waste can reduce greenhouse gas emissions at unsanitary landfills of municipal solid waste and coal-fired power plants.

The authors [15] found that burning coal leads to high emissions of  $N_2O$  and  $NH_3$ . In this regard, the addition of municipal solid waste for co-firing with coal leads to a decrease in the concentration of emissions of  $N_2O$  and  $NO_x$ . As a rule, the formation of  $N_2O$  is almost the same as for  $NO_x$ , therefore, its main share is accounted for by volatile substances). However, unlike  $NO_x$ ,  $N_2O$  emissions from the combustion chambers are not significantly affected by air preparation, but are highly dependent on the operating temperature and the level of excess air. Lower concentrations of solid waste to some extent counteracted some of the  $N_2O$  emissions. However, the main contribution to abatement was that the removal of volatile components from municipal solid waste, the O / C and H / C ratios were higher than that of coal, which resulted in the existence of accessible OH and H radicals, which contributes to the continued presence of HCN ejected from coal [15].

The authors [16] analyzed the data on the life cycle of the combustion process.  $CO_2$  emissions from fossil fuels, including auxiliary coal, are a major source of global warming. However, co-firing of waste and coal mitigated the effects on acidification, photochemical ozone and nutrient enrichment of coal-fired power plants due to energy substitution. Compared to burning with excess coal, burning with a sufficient amount of coal has significant advantages for reducing the impact on global warming. Meanwhile, fewer  $NO_x$  and  $SO_2$  emissions that contribute to nutrient enrichment and acidification have been eliminated due to reduced generation and replacement of electricity. Heavy metals such as Hg, Cd, and Pb emitted into the air led to ecotoxicity of the soil, regardless of the amount

of auxiliary coal used. When two thirds of the ashes were separated from the sources and buried, burning residual waste saved the effects on global warming, along with fewer saving on acidification and nutrient enrichment, since auxiliary coal was not required [16].

Waste plastics with a higher energy value, lower ash content give less volatile organic compounds in laboratory tests [17]. This indicates high combustion efficiency at tabletop conditions. Thus, the method of residual volatile organic compounds on a laboratory scale can be used as a selection method for selecting suitable spent fuel for actual tests in a furnace by relating the combustion efficiency in a laboratory mode with the potential effect on the thermal characteristics of a full-scale furnace. In addition, the ease of comparison associated with the described tests on the desktop scale provides operators with a good resource for obtaining preliminary data for obtaining permits for fuel testing and for improving the selection and mixing of heterogeneous spent fuels [17].

The authors of [18] offer an energy program, which is characterized by several positive effects. These include savings on high-quality solid fossil fuels, where by reducing their consumption in thermal power plants by replacing coal with a combined fuel with an equivalent amount in terms of energy production. The stability of ignition and combustion of a drop of fuel up to the complete burning out of combustible components was experimentally substantiated in [18] for various fuel compositions under typical conditions of boiler furnaces. Also [18], the main stages of interrelated physicochemical processes were identified: inert heating; evaporation of moisture from the subsurface layer, thermal decomposition of solid combustible components (coal and municipal solid waste); mixing combustible gases with an oxidizing agent; ignition and burnout of the gas mixture; heating a solid combustible residue, inhomogeneous ignition and combustion [18]. The proposed [18] energy program will completely solve the problem of utilization of municipal solid waste, as well as coal processing waste. In addition, it will reduce the number of cupcakes. Adding solid waste to composite fuels will allow utilizing up to 50% of their annual production [18].



The authors [19] came to the conclusion that with the co-combustion of coal and municipal solid waste, a decrease in CO emissions in the stream was observed. In addition, the mixing of municipal solid waste with coal helped reduce SO<sub>2</sub> emissions during combustion. HCl emissions for all mixtures were low. As for the emission of N<sub>2</sub>O, decay was observed with increasing temperature. As the mixing ratio increased, HCN concentrations were higher than that of NH<sub>3</sub>, and both were assumed to play a significant role in nitrogen production on the gas side during co-combustion. NO outflow concentrations dominated in all cases of joint combustion, which increased with increasing temperature [19].

Significant amounts of unclaimed municipal solid waste are crucial for the prospect of incineration as additives to the composite liquid fuel. The development of efficient technologies for burning such fuels is characterized by a positive environmental and economic effect. That is why regularities and necessary conditions for ignition of compound droplets of liquid fuel during convective and radiant heating have been experimentally discovered [20]. The fuel described in [20] was based on cakes with filters of 10% of typical wood raw materials, rubber, plastic, cardboard. The main stages were identified for interdependent physical and chemical processes: inert heating of the drop; evaporation of moisture from the underground layer, thermal decomposition of flammable components; mixing combustible gases with an oxidizing agent; ignition and burnout of the gas mixture; heating of the solid residue, heterogeneous ignition and combustion of the solid residue. When typical household waste is added to a composite fuel, this gives the equivalent amount of energy during combustion, and the concentration of basic anthropogenic emissions in gas gases is lower. The results obtained in [20] are the basis for the development of modernization procedures for solid and liquid fuel combustion technologies that are currently used in thermal power engineering for the joint utilization of solid household waste. In particular, it is possible to optimize the modes of operation of fuel-generating equipment by adding various solid combustible components to the fuel and adjusting their concentration [20].

The authors of [21] investigated the effect of gasification temperature and the mixed ratio on reactivity during co-gasification and synergism of bituminous coal and hydrogen obtained from municipal solid waste. In addition, the active conversion of alkali and alkaline earth metals during co-gasification was quantitatively analyzed using an optical emission spectrometer with inductively coupled plasma to correlate synergies with the reactivity of co-gasification. The results showed that the higher reactivity of gasification charring existed with a higher proportion of solid waste carbonization and gasification temperature, and the main synergistic behavior with respect to reactivity of joint gasification was performed as a synergistic effect. A more significant synergistic effect at lower temperatures was mainly due to a more pronounced inhibition of the conversion of active Ca. The weak synergistic effect at the temperature was still maintained, since the more active K with pronounced catalysis remained. In addition, more active derivatives from municipal solid waste remaining in particles of bituminous coal during co-gasification can lead to a greater synergistic effect with an increase in the proportion of solid household waste [21].

Scientists from Greece [22] carried out the co-incineration of two household waste (food waste and solid household waste) with agricultural waste was carried out in a fluidized bed installation to study the thermal operation of these for energy production. The reactivity of the fuels was studied using thermogravimetric analysis, while temperature profiles, gaseous emissions and combustion efficiency were determined under various operating conditions of the fluidized bed reactor. Food waste material was very heterogeneous, with lower flammability than municipal solid waste, and significant sulfur content. Waste samples had high nitrogen content and were rich in calcium and phosphorus. When fuels were mixed with coal, they burned at a lower speed and temperature, compared to coal, in a fluidized bed environment [22].

The authors [23] found that renewable solid fuels (biomass) and bio solid wastes are potential sources of raw materials for the production of gaseous fuels. Thermal gasification and pyrolysis are the most promising conversion technologies

for large industrial installations. However, due to the low biomass density, co-gasification and co-pyrolysis with coal will provide the potential benefits of biomass and bio-solid waste and make commercial production of gaseous fuels cost-effective. The technical task of joint gasification is gas cleaning to remove tar and other impurities (NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, HCl, etc.) for all types of solid fuels as feedstock. When solid waste, such as dry sewage sludge, is added to solid fuels, ash separation and treatment must be considered. The products of pyrolysis and co-pyrolysis of carbonaceous solids include hard coal, bio-oil and gases. When gases are defined as a target product, pyrolysis should operate at high temperatures with a high heating rate. In order to make production economically viable, the use of solid char and bio-oil should be taken into account, as well as the development of low-cost bio-oil processing technologies. The use of mixed coal and ash can be a problem that should be given more attention in future research and development. Joint pyrolysis of bio-solid waste with biomass or with coal has not been found in the literature, and this may become an area for future research [23].

The authors in [24] demonstrated that the combined use of food waste and coal in the 1: 1 ratio is a promising method of significantly increasing the high heating value (BTS) to 31.4 MJ / kg while reducing the ash content to 2.2%. Thermogravimetric analysis showed that the burning of food waste during hydrothermal carbonization lowers the ignition temperature, and therefore co-hydrothermal carbonization of food waste and coal is more suitable for burning, having a high thermal stability. Hydrothermal carbonization bicarbonate has the same advantage of low ash content as bicarbonate from food waste, while maintaining high combustion and PTS of coal. Molasses played an important role in the formation of granules to create a solid bridge between food waste and coal by recrystallization, and thus the mixture at 300 ° C showed the highest tensile strength of 4.5 MPa. It was further demonstrated that co-mixing food waste with coal is a viable option for hydrothermal carbonization of the conversion to bicarbonate and products having a high energy yield and mass density. Therefore,

for household applications, it is recommended to use co-hydrothermal carbonization from food waste and coal at a temperature of 300 ° C [24].

The authors in [25] studied the pathways for the formation of polychlorinated dibenzo-n-dioxins (PCDD) and - furans (PCDF) with the co-incineration of municipal solid waste and coal. The authors [25] found out that most PCDD / F concentrate on fly ash, because heterogeneous catalytic formation mainly occurs on the surface of fly ash particles. PCDD / F in flue gases are formed as a result of homogeneous synthesis at high temperature and desorption of fly ash. Carbon-induced carbon increases the adsorption capacity of fly ash particles for PCDD / F, but contributes to the formation of carbon matrices and polycyclic aromatic hydrocarbons, which significantly accelerate de novo synthesis as the amount of chlorine and catalytic metals increases. Chlorine in fuels, mainly caused by solid household waste, should be properly controlled, lead authors [25], since it will greatly contribute to homogeneous synthesis and heterogeneous catalytic formation of PCDD / F [25].

Municipal solid waste is a promising raw material for the production of biobutanol, since it contains a large amount of lignocellulosic fibers, such as paper, wood, and food waste, about 50 % from the normal stream of solid household waste. The study assessed the production of acetone, butanol, ethanol and hydrogen from autoclaved raw materials for municipal solid waste. Life cycle assessment is carried out to assess the process of production of acetone, butanol, ethanol and hydrogen, taking into account the cogeneration of heat and energy from residual biogenic waste based on experimental data and process modeling. The yield of the product from acetone, butanol and ethanol can be achieved with 12.2 kg of butanol, 1.5 kg of ethanol, 5.7 kg of acetone and 0.9 kg of hydrogen per ton of solid waste. The product yield is relatively low compared with other types of lignocellulosic raw materials, mainly due to the lower hydrolysis yield (38% for glucose) achieved in [26].

The commercial expansion of the gasification system for municipal solid waste is limited by the poor quality of synthesis gas, especially due to the low

calorific value and high tar and HCl content. In [27], an innovative three-stage system for the joint gasification of municipal solid waste with high alkali coal was developed. The simulated municipal solid waste was pyrolyzed in the first stage, and the crude synthesis gas was partially oxidized in the second stage, and then recovered in the final stage with coal with a high content of alkaline coal to produce high-quality synthesis gas. The authors [27] found that the efficiency of HCl removal decreased with increasing recovery temperature, which indicates that a higher temperature is unfavorable for dechlorination of Ca-based compounds as HCl absorbents. When using coal with high alkali content, the quality of synthesis gas can be significantly improved, and the concentration of HCl can be controlled to a low level. A higher reduction temperature (above 800 ° C) would be unfavorable for the catalytic cracking of tar and the dichlorination effect of semi-coke of high-alkaline coal, caused by the melting of the corresponding metal chlorides. X-ray diffraction analysis confirmed that most of the HCl in the synthesis gas was assimilated by CaO and MgO, and CaO plays a major role in the removal of HCl [27].

The authors of [28] found that grid-burning technology is one of the widely used technologies for solid waste incineration, which recovers energy and significantly reduces the amount of solid waste for landfill disposal. In incinerators with a grate, solid waste is packed in a fuel layer on the grate, where the main heterogeneous conversion occurs. In contrast to coal or biomass prepared for incineration, municipal solid waste fed to real incineration plants often have highly heterogeneous, as well as fairly large particle sizes. The particle size of the fuel can affect the combustion process in the compacted layer using various methods, such as heat and mass transfer between the gas phase and the solid phase, the intensity of radiation inside the layer, turbulent dispersion of energy and gas species in the porous layer, and the rate of evaporation of moisture. It is reported that larger particles may contribute to earlier ignition. Particles with a size of 15 mm reach a maximum ignition rate for particle sizes in the range of 5–25 mm. From the point of view of modeling, the influence of particle size is reflected in the effective

thermal conductivity, which combines the conductivity of gas and solid, the radiative flux and turbulence in the air flow [28].

The authors [29] found that the use of municipal solid waste instead of coal for the production of electricity gives more ambiguous climatic advantages. The efficiency of direct conversion of waste into electricity is relatively low, and the use of waste as fuel eliminates the partial capture of the carbon content in the waste at the landfill, as well as the ability to extract and use the CH<sub>4</sub> landfill as fuel. Significant uncertainty regarding landfill decomposition processes raises additional questions about the climate benefits of using waste for power generation. New gasification technologies slightly increase the efficiency of conversion of electricity production and facilitate the use of difficult-to-process fuel, including municipal solid waste [29].