

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) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЕТО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ВОДО-УГОЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ.

УДК 662.66.022.51-936.2:662.613.128

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ71	Табурчинов Роман Ильич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Р.И. Егоров	к.ф.-м.н.,		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН	А.В.Жаворонок	-		

По разделу «Социальная ответственность»

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

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	М.А.Вагнер	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Технология производства электрической и тепловой энергии	О.Ю. Ромашова	к.т.н., доцент		

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) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ А.С. Матвеев
 (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
5БМ71	Табурчинову Роман Ильичу

Тема работы:

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЕТО-ИНДУЦИРОВАННОЙ
ГАЗИФИКАЦИИ ВОДО-УГОЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ.**

Утверждена приказом директора (дата, номер) _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2019 г.
--	----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><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>Целью исследования является определение особенностей процесса свето-индуцированной газификации водо-угольных суспензий при помощи численного моделирования. Объектом исследования в работе является топливный состав на основе фильтр-кека угля марки Г. Предметом исследования выступает процесс аллотермической газификации водо-угольной частицы данного состава..</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы по направлению исследования 2. Построение численной модели радиационного нагрева порции топлива с учетом осмысленных значений тепловых потоков 3. Разработка численной модели физико-химических процессов, протекающих в разогретом слое топлива (испарение воды, окисление углерода). 4. Экспериментальное определение неизвестных параметров протекающих процессов (рабочие температуры, кинетические параметры окисления топлива) 5. Сопоставление результатов моделирования с экспериментальными данными 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность <p>Заключение</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	-
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>А.В. Жаворонок, ассистент ОСГН</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>О.А.Куликова, к.т.н., доцент ООД ШБИП</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Раздел 2.1 Технологии газификации угля</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.12.18</p>
--	-----------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Научный сотрудник ИШФВП</p>	<p>Р.И. Егоров</p>	<p>к.ф-м.н.</p>		<p>01.12.18</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5БМ71</p>	<p>Табурчинов Роман Ильич</p>		<p>01.12.18</p>

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистра по направлению в соответствии целями основной образовательной программы, видами и задачами профессиональной деятельности, указанными в ФГОС ВО 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код	Результат обучения
Общие по направлению подготовки	
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>	
P1	применять передовые знания и достижения для формулирования заданий на разработку проектных решений, проектировать инновационные теплоэнергетические и теплотехнические системы и оборудование, разрабатывать проектные решения, связанные с модернизацией технологического оборудования
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>	
P2	интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования
P3	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях
P4 (P6)	применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>	
P5 (P4)	применять глубокие знания для планирования и постановки задачи инновационного инженерного исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки, применять инновационные методы исследования, проводить исследования, критически интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований
<i>организационно-управленческая деятельность:</i>	
P6 (P5)	руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений

<i>педагогическая деятельность:</i>	
P7	осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки
<i>Универсальные компетенции</i>	
P8	мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации
P9	использовать творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться
P10	использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере
Профиль 1	
P11	проводить моделирование и технические расчеты по проектам, анализ надежности, технико-экономический и функционально-стоимостной анализ эффективности проектных решений тепловых и атомных электростанций и их систем
Профиль 2	
P 12	моделировать теплогидравлические процессы в основном и вспомогательном оборудовании атомных электростанций и других энергетических установок, работающих на различных физических принципах
Профиль 3	
P13	проводить моделирование и технические расчеты по проектам, технико-экономический и функционально-стоимостной анализ эффективности проектных решений для разработки нового теплообменного и теплотехнологического оборудования
Профиль 4	
P14	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в автоматизированных системах управления технологическими процессами в теплоэнергетике и теплотехнике

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация 105 страниц, 26 рисунков, 22 таблицы, 82 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: тепломассоперенос, теплообмен, излучение, водоугольное топливо, газификация, численное моделирование, экспериментальные исследования, аллотермическая газификация, светоиндуцированная газификация, синтез газ.

Предметом исследования является процесс светоиндуцированной газификации водо-угольной частицы.

Цель работы – определение основных особенностей процесса аллотермической газификации водо-угольной суспензии при помощи солнечного излучения.

Произведено сопоставление математической модели с экспериментальными исследованиями по определению зависимостей выхода синтез газа и его состава от времени подвода теплоты к частице из водоугольной суспензии.

В результате исследования получены зависимости концентраций компонентов сингаза (CO , H_2 , CO_2 , NO_x), характерный для состава на основе фильтр-кека Г. Установлено доминирование реакции неполного окисления углерода. Разработана численная модель, учитывающая комплекс процессов испарения, термической подготовки и газификации частицы водоугольного топлива. Определены кинетические характеристики реакции неполного окисления углерода для данного процесса.

Результаты исследования использовались при проведении лабораторных работ в рамках НИРС.

Область применения: газификаторы, утилизация отходов углеобогащения.

Оглавление

1	Введение.....	7
1.1	Энергия и человечество.....	7
1.2	Обзор состояния современной энергетики	8
2	Обзор литературы.....	11
2.1	Технологии газификации угля.....	11
2.2	Светоиндуцированная газификация	18
3	Объект и методы исследования	23
3.1	Методика экспериментального исследования	23
4	Результаты исследования	25
4.1	Результаты эксперимента.....	25
5	Постановка задачи.....	30
5.1	Физическая постановка	30
5.2	Математическая постановка задачи.....	32
6	Результаты математического моделирования	36
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
7.1	Предпроектный анализ.....	44
7.2	Планирование управления научно-техническим проектом	52
7.3	Бюджет научного исследования.....	56
7.4	Организационная структура проекта.....	59
7.5	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	62
7.6	Заключение разделу.....	70
8	Социальная ответственность.....	73

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
8.2 Производственная безопасность.	76
8.3 Экологическая безопасность	80
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
8.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	84
Заключение	86
Список литературы	87
Приложение А	94

1 Введение

1.1 Энергия и человечество

Энергия и ее использование сопровождают человечество практически с самого его зарождения. Использование огня стало первым и одним из основополагающих факторов, стимулировавших дальнейшее развитие нашего вида. Люди использовали энергию горения древесного топлива или биомассы для обогрева своего жилья и приготовления пищи [1-3]. Следом за огнем шло использование энергии ветра с помощью паруса и ветряные мельницы. Водяные мельницы, использующие тот же физический принцип, что и ветряные мельницы, были следующим устройствами, с помощью которых человек освоил гидроэнергию [1]. Начало использования металлов и зарождение примитивных методов металлообработки [4,5], требующих значительных затрат тепловой энергии, привело к тому, что возможности древесного топлива оказались ниже потребностей [6,7] – человечество нуждалось в более калорийном виде топлива, коим явился каменный уголь. В это время и начинается его активная добыча и повсеместное применение в промышленности. Начинается эпоха ископаемого топлива, которое скапливалось в литосфере Земли в течении миллионов лет [8-10].

Эра жидкого топлива (нефти и нефтепродуктов) наступает по мере понимания промышленного потенциала использования нефтепродуктов и соответственно, развития процессов их добычи и переработки. Век механизации труда привел к существенным изменениям динамики промышленных объемов потребляемой энергии [11].

За последние полвека можно четко проследить ряд промышленно-экономических кризисов, сопровождавшимися глобальными флуктуациями энергоресурсов. Несмотря на это долговременная тенденция свидетельствует о постоянном росте энергопотребления в мировом масштабе [11-14]. Это способствует к дальнейшему расширению разработки богатства недр нашей планеты.

1.2 Обзор состояния современной энергетики

Эпоха мирного атома началась с введением Советским Союзом в эксплуатацию в г. Обнинск первой в мире ядерной электростанции, работающей на энергосеть. Однако атомная электроэнергия не привела к кардинальным изменениям мировой энергетики. Причиной этому стала небольшая доля в структуре мирового энергобаланса (17 %) [11,14]. Хотя в некоторых странах эта доля доходит до 72 % [11,15-18]. Несколько основных факторов сдерживают атомную энергетику, таких как высокий уровень капитальных затрат на постройку атомной электростанции, малая динамичность энергоблоков, проблемы утилизации ядерных отходов. Также ряд крупных аварий и катастроф сократили привлекательность данного вида производства энергии [19-22].

Возобновляемые источники энергии, такие как ветер или солнце, на данный момент времени и с данными характеристиками преобразующих устройств не смогут дать необходимого количества потребляемой электроэнергии, хотя их доля в мировом энергобалансе существенно возросла за последние 12 лет (с 2,3 % до 8,4%) [11,14]. Основной проблемой при использовании возобновляемых источников энергии является невозможность обеспечения энергией непрерывных производств в силу суточных и сезонных колебаний мощности [23,24].

Природный газ стремительно наращивает долю в мировом энергопотреблении [5,25], толчком к этому послужил энергетический кризис в 1973 году, после искусственного завышения цен на сырую нефть. На данный момент он очень привлекателен с точки зрения утилизации, его удобно транспортировать и хранить. По сравнению с нефтью или углем он практически не создает вредных выбросов при сжигании, за исключением CO_2 и NO_x . К тому же разработка и внедрение новейших парогазовых установок позволяют добиться одних из самых высоких КПД (до 61%) в энергетике на данный момент времени [26,27].

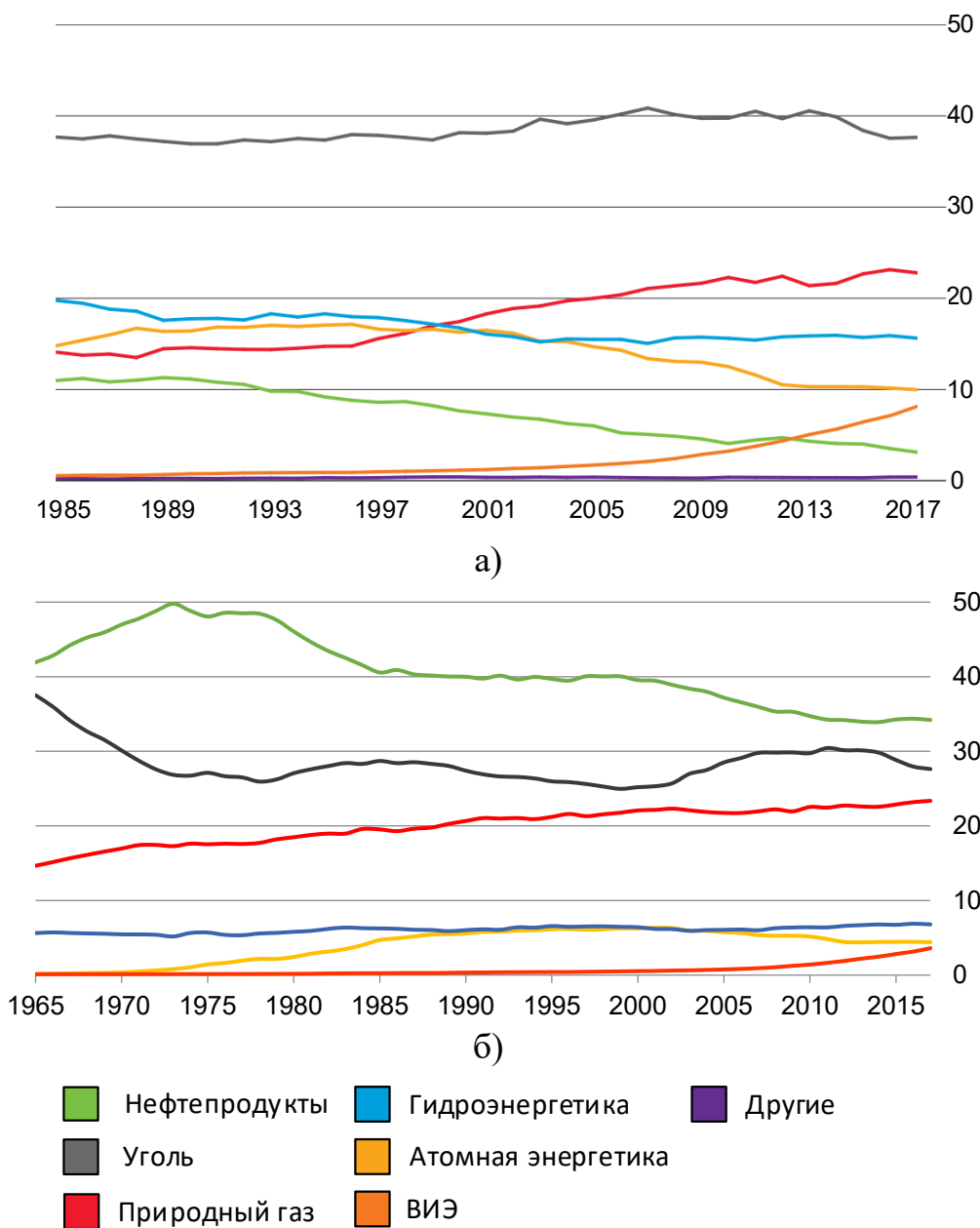


Рисунок 1 – Динамика использования (%) различных энергоносителей в а) выработке электроэнергии б) мировой промышленности

Существует несколько вариантов развития мирового энергопотребления и энергопроизводства. Однако все они сводятся к тому, что мировая экономика продолжает расти, благодаря росту населения Земли и благосостояния в развивающихся странах [28-30]. Основная часть этого развития обусловлена повышением производительности труда (т.е.. ВВП на душу населения), на долю которого приходится почти 80% глобального увеличения энергопотребления. Появление большого и растущего среднего

класса в развивающемся мире становится все более важной силой, формирующей глобальные экономические и энергетические тенденции. На развивающиеся страны приходится более 80% роста мирового производства, а на Китай и Индию приходится около половины этого роста [11].

Уголь же уже на протяжении века стабильно занимает одну из лидирующих позиций в мировом энергобалансе. В производстве электрической энергии уголь до сих пор занимает первое место, что на 2017 год составило 38,1% от произведенной электроэнергии (рисунок 1) и, согласно прогнозам экспертов, радикального снижения доли угля не предвидится [11]. Однако основные проблемы использования угля, такие как удобная транспортировка или экологически чистое его сжигание, не решены до сих пор. Одним из путей повышения эффективности угольной энергетики является внедрение технологий глубокой переработки угля, например, систем комплексной газификации угля.

2 Обзор литературы

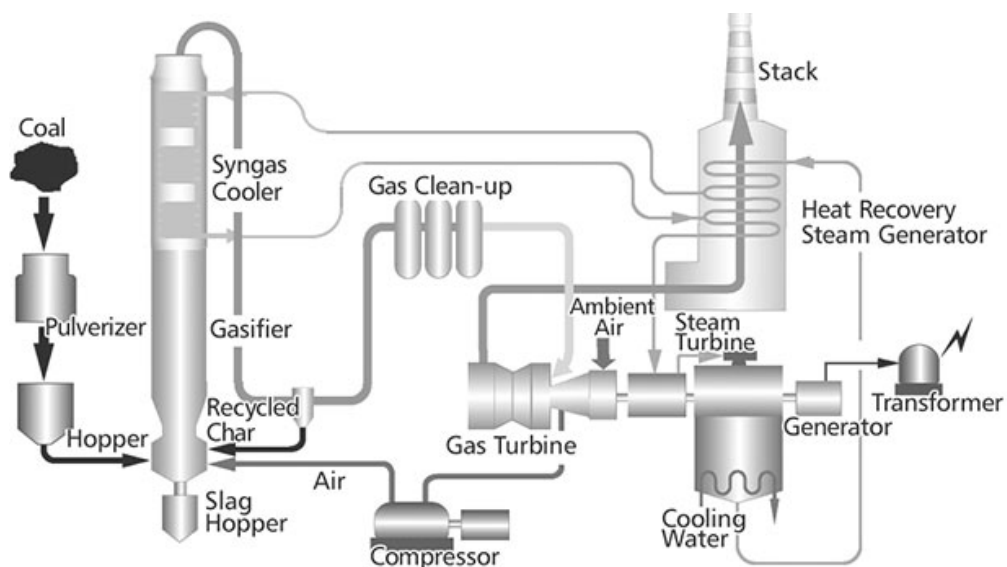
2.1 Технологии газификации угля

На данный момент реализовано несколько современных проектов тепловых электростанций на принципе комплексной газификации углей [27,31-33], которые показали почти 50% уровень КПД при получении электроэнергии из угольного топлива. Данный уровень эффективности заявляется японской компанией Mitsubishi-Hitachi, которая использует цикл комплексной газификации угля. Данная электростанция используется с 2013 года в Японии и на первом этапе реализации полный КПД составил 48%. Для преодоления 50% порога эффективности планируется внедрить ряд решений на основе технологии с чисто кислородным дутьем – IGCC. Схема данного комплекса представлена на рисунке 2.

Помимо производства электроэнергии за счет теплоты сжигания сингаза, полученного из угля, данная технология предполагает использование и утилизацию попутных продуктов (смолы, серы, оксиды металлов, зола и др.).

Основным и ключевым элементом системы газификации угля является реактор-газификатор (поз. 2 рисунок 2), в котором и реализуются процессы термического разложения углеводородов и частичного окисления углеродного остатка. На настоящее время газификатор рассчитан на угли высокой степени метаморфизма (антрацит, битуминозные и суббитуминозные).

Принцип работы газогенератора давно известен [33,34], но реализация конкретных установок отличаются несколькими факторами, такими как распределением температур в колонке реактора, типом топливной смеси, режимом горения, типом газифицирующего агента, режимом передачи тепла, рабочими давлениями и температурами, способом подачи топлива.



a)



б)

Рисунок 2 – Схема комплекса Mitsubishi-Hitachi для производства электроэнергии на основе технологии комплексной газификации угля (а), а также его внешний вид (б).

1 – Дымовая труба; 2 – Газификатор; 3 – Воздухоразделительная установка; 4 – Сероулавливающая установка; 5 – Химический абсорбер CO_2 ; 6 – Блок улавливания обессеренного CO_2 ; 7 – Щит управления; 8 – Газоочистные сооружения; 9 – Газовая турбина.

Существуют различные методы газификации углей [38-41]: в плотном слое, в кипящем слое, в потоке и расплаве с использованием воздушного,

кислородного, парового дутья или их комбинации. Классический типичный газификатор состоит из вертикальной колонки, заполненной шихтой (смесью угля, негорючего наполнителя и различных сорбентов). Негорючий наполнитель обеспечивает лучшую проницаемость угольного слоя для фильтрующихся через слой газов, сорбенты используют для частичного поглощения вредных продуктов газификации. В зависимости от выбранного процесса газификации рабочее давление внутри газификатора может варьироваться в широком диапазоне от 0,1 МПа до 10 МПа. По рабочей температуре в реакторе газификацию делят на три вида: низкотемпературная ($T < 1100 \text{ K}$), среднетемпературная ($1000 \text{ K} < T < 1600 \text{ K}$) и высокотемпературная ($T > 1600 \text{ K}$).

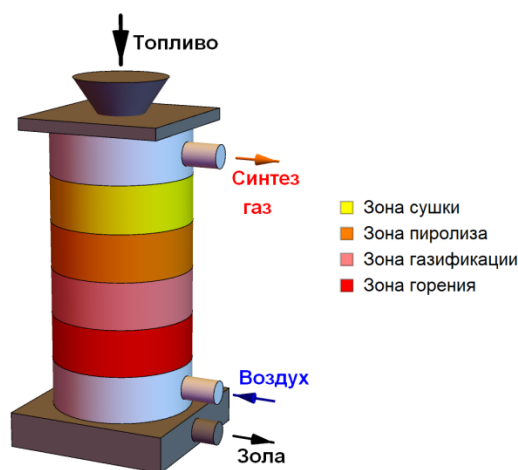


Рисунок 3 – Схема газогенераторной колонки при газификации в плотном слое.

Газификация в плотном слое предусматривает нагрев шихты (уголь крупного помола, от семечка до штыба) в колонке за счет подачи «горячего» окислителя в нижнюю часть реактора и горения (зона горения рисунок 3). «Горячие» газифицирующий агент (обычно окислитель+водяной пар) и продукты горения проходят через слой шихты вверх по колонне, нагревая все последующие зоны и ускоряя химические процессы термического разложения угля. Так происходит зонированное распределение температур слоя шихты по высоте колонки [35].

Топливо двигается сверху вниз под действием силы тяжести по мере удаления зольного остатка из нижней части газогенератора при помощи специальных устройств. В зоне горения поддерживается максимальная температура за счет окисления коксового остатка топлива. В зоне газификации происходит термическое разложение оставшихся после пиролиза углеводородов. Почти весь объем окислителя связывается в зонах горения и газификации, в зоне пиролиза же происходит практически безкислородное разложение углеводородов (собственно сам пиролиз), выход летучих из угля, разложение на простейшие углеводороды, CO, CO₂, H₂, которые образуют генераторный газ. Далее генераторный газ (сингаз, синтез газ) проходит через зону сушки топлива, остужаясь до температуры менее 1000 К за счет передачи своей теплоты свежему топливу. После этого сингаз подается на системы осушки, охлаждения и очистки от серы, смол и механических примесей. Обработанный газ направляется как правило, на сжигание в камеру сгорания основного потребителя (топка котла, газовая турбина).

Данный вид газификаторов довольно прост и используется как в промышленности, так и в научно-исследовательских проектах. Однако увеличение производительности такого газогенератора (рисунок 3) является комплексно сложной и зачастую нереализуемой задачей.

Газификация в кипящем слое требует гораздо большего измельчения шихты (фракция 0,5-5 мм), но процесс подобен описанному выше. Псевдосжижение происходит при подаче топлива вместе с окислителем восходящим потоком парогазовой смеси. Более высокая «скорость газификации» (преобразование твердого топлива в газ) объясняется большей площадью реагирования за счет более мелкой фракции топлива.

Именно газификация в пылевом потоке используется в цикле IGCC [31,32] для выработки электроэнергии. Угольная пыль или водоугольная суспензия совместно с кислородом вдувается в реактор. Высокая температура факела горения топлива (до 2000 К) при давлениях 2-8 МПа обеспечивают высокую конверсию топлива и производство сингаза минимально

загрязненного различными смолами. Зола при данных условиях сжигается, попадает в нижнюю часть газогенератора и удаляется оттуда для охлаждения, грануляции и утилизации. Такие высокие значения температур в генераторе хоть и обеспечивают высокую производительность, но также значительно увеличивают износ конструкций, увеличивая расходы и уменьшая время безотказной работы.

На рисунке 4 представлена схема двух-стадийного процесса газификации, разработанного фирмой Destec. Такая схема позволяет получить высокэффективное преобразование водоугольных суспензий (ВУС) в синтез-газ при использовании дутья высокой степени очистки. Смесь топливной суспензии и кислорода подается в нижнюю часть газогенератора, где происходит испарение воды и частичное окисление угля при температуре ~ 1650 К и давлении 2,5 МПа. Неочищенный сингаз с высокой температурой поднимается в верхнюю часть реактора, где дополнительно подается ВУС+O₂. В ходе протекания ряда эндотермических реакций температура генераторного газа снижается, а его теплотворная способность растет.

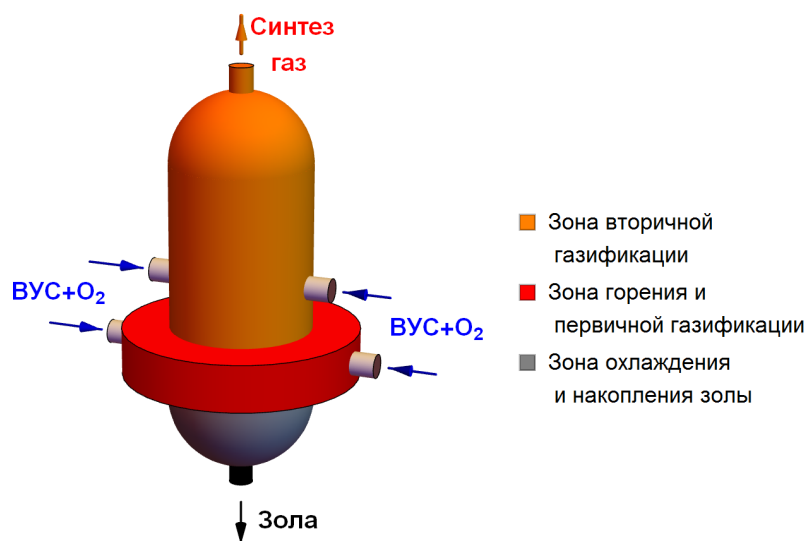


Рисунок 4 – . Схема газогенераторной колонны при газификации в газопылевом потоке

Использование чистого кислорода и достаточно высокое содержание углекислого газа в получаемом газе являются основными недостатками газификации в газо-пылевом потоке [36]. Однако при этом конструкция

систем подачи топлива практически аналогичны угле-пылевым системам «классической» угольной энергетики.

Одним из методов попутной конверсии углеводородов является газификация угля в расплаве (рисунок 5). В расплавленный металл добавляется угольная шихта, синтез газ, выделяясь, устремляется в верхнюю часть рабочего объёма. В ЮАР была реализована установка, преобразующая до 300 тыс. тонн угля в год и выдающая 1650 м^3 сингаза на тонну металла. Хотя данная технология и привлекательна за счет возможности конверсии низкорреакционный топлив (отходы углеобогащения), но данные установки способны работать только в одном и том же режиме (номинальном), так как требуют стабильного температурного уровня ванны расплава. Сингаз, полученный данным способом, оксидов азота и серы, вследствие высокой температуры протекания процесса. Данный метод газификации максимально близко соответствует определению аллотермического процесса, когда основной поток тепла для его поддержания приходит от внешнего источника. Однако, попутное тепло, выделяющееся при окислении угля, вносит существенный вклад в разогрев шихты.

Состав сингаза, полученного методов газификации очень сильно зависит от вида топлива, способа и параметров газификации. Например, состав генераторного газа, получаемого в простых установках газификации в кипящем слое или газификации в плотном слое, составляют: CO порядка 25-27 об.%, CO₂ до 5об.%, CH₄ 2-3 об.%, H₂ до 15 об.%, и порядка 50 об.% азота с долями процента сернистого газа и кислорода [37]. При использовании антрацитов получается схожий состав, но меньше в 5 раз метана и больше диоксида углерода. Добавление водяного пара позволяет повысить содержание CO и водорода со снижением температуры.

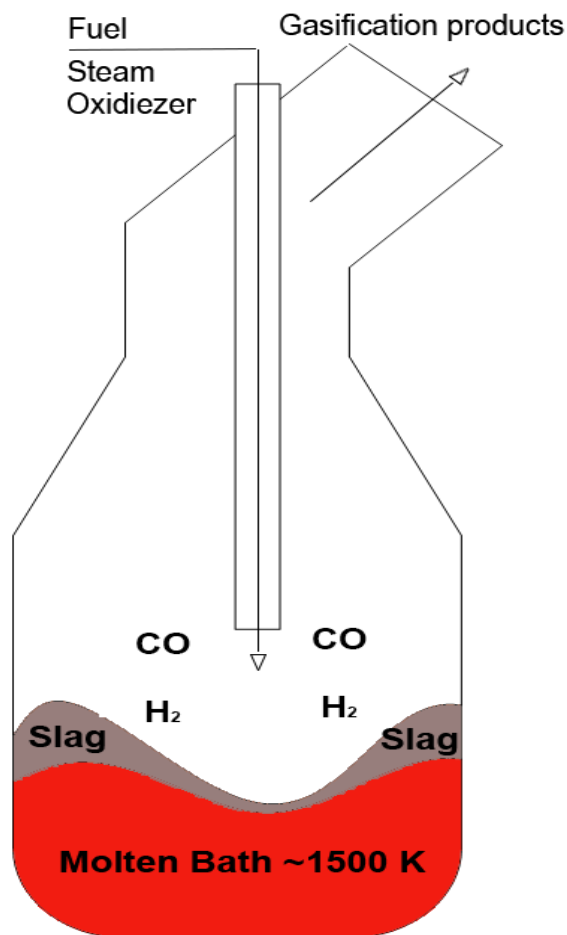


Рисунок 5 – Схема реактора газификатора при газификации в расплаве

Почти все описанные в данном разделе методы газификации угля (за исключением метода газификации в расплаве) используют чисто автотермический режим [36]. Автотермический режим предполагает использование тепла от сгорания части топлива (около 30 % согласно приведенному выше типовому составу генераторного газа) для конверсии основной его части, что несомненно снижает его привлекательность. Задача снижения доли тепла топлива, используемого для его газификации, является одной из основных в данной области [38].

Необходимость сооружения масштабных конструкций газификаторов, рассчитанных на высокие давления (до 8 МПа) и температуры является еще одной проблемой, тормозящей внедрение газификации твердых топлив в энергетику и промышленность. Данные системы представляют собой объекты

повышенной взрыво-пожароопасности, что также ограничивает их широкое распространение [39].

Реакторы высокой производительности, работающие по процессам Фишера-Тропша, Лурги и прочих, имеют маневренность, оставляющую желать лучшего. Процессы запуска и останова такого промышленного газификатора представляют собой комплексно сложную задачу, требующую высоких затрат временных и человеческих ресурсов [36,40-42].

Обобщая все вышесказанное, необходимо отметить, что, руководствуясь перспективами топливного рынка, прогнозами развития энергетики и промышленности, ростом потребления энергии человечеством и интерес к технологиям эффективного использования (сжигания в данном случае) твердого топлива будет только расти и одним из наиболее перспективных направлений в области сжигания угля является его аллотермическая газификация.

2.2 Светоиндуцированная газификация

Аллотермическая газификация подразумевает подвод теплоты для газификации топлива от какого-либо внешнего источника [43]. Это позволяет существенно снизить (или совсем исключить) затраты топлива на поддержание процесса конверсии. Также отпадает необходимость в кислородном дутье, а значит и в дорогостоящей и технически сложной кислородной установке.

Однако такие генераторы находятся на данный момент только на стадии теоретических и экспериментальных исследований. Как и автотермические процессы газификации, аллотермические могут происходить в плотном слое, в пылевом потоке, в кипящем слое, в расплаве.

В основном рассматриваются подводы теплоты с помощью низкотемпературной плазмы [44,45], СВЧ-излучения или расплавом металла [46-48]. Но практически все эти способы требуют высоких затрат энергии для поддержания требуемого температурного режима. Необходимо задуматься о

том, какие источники могут дать нам достаточное количество «бесплатной» энергии для газификации. Для этого идеально подойдут возобновляемые источники энергии, а именно солнечная энергия. Излучение позволяет передать теплоту напрямую к частице топлива, что сокращает сопутствующие потери. Однако Солнце не является стабильным источником энергии, на него влияют такие факторы как: смена дня и ночи, облачность и различная интенсивность в зависимости от времени года. Целесообразно будет применять светоиндуцированную газификацию, как вспомогательный комплекс, позволяющему экономить затраты энергии на конверсию топлива, к основному циклу производства электроэнергии, либо использовать ее там, где нет необходимости в стабильной выработке энергии.

Для процесса газификации угля можно выделить три вида топлива:

- Крупные куски (до 50 мм в диаметре)
- Пыль (различного помола)
- Водоугольные суспензии (ВУС)

Если первые два вида хорошо проработаны и повсеместно используются, от ВУС является относительно новым и перспективным видом топлива для сжигания или газификации угля. Известно, что качественные свойства водоугольных топлив (концентрация углерода, вязкости состава, стабильности и др.) существенно разнятся в зависимости от вида его основы.

Повышенная гидрофобность угольного компонента, низкое содержание кислорода и карбоксильных групп (высокая степень углефикации), низкое содержание основных оксидов металлов - такие качества являются приоритетными на данный момент при приготовлении ВУС. На данный момент активно развиваются технологии по приготовлению водоугольных суспензий из низшего битуминозного угля, лигнита, нефтяного кокса и т.п..

Так как численных моделей светоиндуцированной газификации еще не существует, следует рассмотреть модели “классической” газификации.

Несмотря на то, что некоторые газификаторы требуют специальных зависимостей для описания процесса газификации, основой являются фундаментальные модели газификации угля основаны на описании процессов, происходящих в пылеугольной частице.

Условно, по времени протекания и характеру, протекающих реакций выделяют три этапа процесса газификации частицы [49-51]:

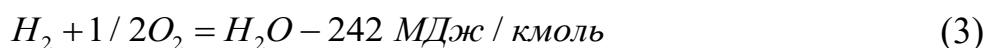
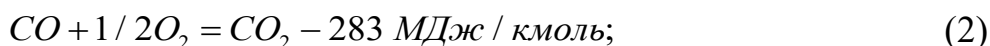
1. Прогрев частицы и испарение влаги из нее
2. Термическое разложение и выход летучих
3. Газификация коксового остатка

Прогрев частицы является первым этапом газификации процесса. Особенностью данного этапа является практически полное отсутствие протекания реакций термического разложения компонентов топлив. Происходит плавное нарастание температуры частицы с последующим испарением из нее влаги [52-55].

Этап термического разложения частицы с выходом из нее летучих следует сразу же за этапом прогрева и испарения влаги. Прогрев частицы выше температуры насыщения воды при атмосферном давлении теоретически невозможен до полного испарения всей влаги [56]. Для описания и учета в модели детального механизма разложения тяжелых углеводородов требуются достаточно большие вычислительные мощности, к тому же сам механизм очень сложен, поэтому при рассмотрении в математических моделях используется упрощенный равновесный подход [57]. Температура пиролиза для бурого угля находится в диапазоне от 250°C до 450°C, каменного от 300°C до 500°C, антрацита от 400°C до 550°C [58]. Предельным случаем разложения смол будут простые вещества – CO, CO₂, H₂, H₂O. Кинетику процесса пиролиза можно разделить на две фазы – газовую и твердотельную. Реакции выхода летучих обычно описываются Аррениусовскими зависимостями [59-61].

Наименее изученной является стадия газификации коксового остатка, при этом она является наиболее протяженной по времени. Химические реакции, протекающие во время этой фазы, можно разделить:

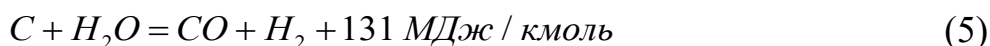
- Горение (необратимые экзотермические реакции):



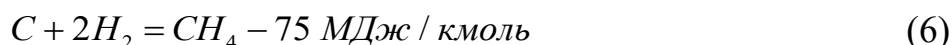
- Реакции Будуа (обратимая эндотермическая):



- Реакции конверсии углерода и воды (обратимая эндотермическая):



- Реакции метанирования (обратимая эндотермическая):



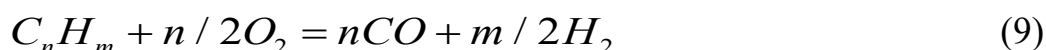
- Реакции конверсии СО и воды (обратимая экзотермическая):



- Реакция обратной паровой метанаии (обратимая эндотермическая)



- Считая, что синтез газ состоит только из водорода и СО, для произвольных углеводородных топлив основное уравнение газификации запишется в виде :



Однако при газификации под действием мощного светового потока происходит очень быстрый (в течение десятка миллисекунд) рост температур в освещённой области поверхности частицы. Вследствие этого процессы окисления и термического разложения происходят гораздо быстрее, чем при классической газификации. Что может вызывать перекрытие этапов газификации, в частности окисление углерода будет происходить в среде водяного пара. Влага, содержащаяся в топливе, продолжает испаряться, в то время, когда уже началось массовое термическое разложение и окисление угля. Такой резкий скачок температур позволяет снизить количество СО₂ в

получаемом синтез-газе за счет усиления роли паро-кислородных реакций. Такой процесс газификации еще не был детально смоделирован, и представляет интерес для дальнейшего исследования.

Целью данной работы является определение особенностей процесса светоиндуцированной газификации водоугольных суспензий при помощи численного моделирования.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Построение численной модели радиационного нагрева порции топлива с учетом осмысленных значений тепловых потоков.
2. Разработка численной модели физико-химических процессов, протекающих в разогретом слое топлива (испарение воды, окисление углерода)
3. Экспериментальное определение неизвестных параметров протекающих процессов (рабочие температуры, хим-кинетические параметры окисления топлива и др.).
4. Сопоставление результатов моделирования с экспериментальными данными.

3 Объект и методы исследования

3.1 Методика экспериментального исследования

Для определения связи между параметрами светового потока, изменением концентраций газов и изменением температуры на освещенной поверхности топлива использовался экспериментальный стенд, представленный на рисунке 6. Стенд предполагает работу с малыми порциями топлива (до 300мг), и удовлетворяет всем требованиям взрывопожаробезопасности.

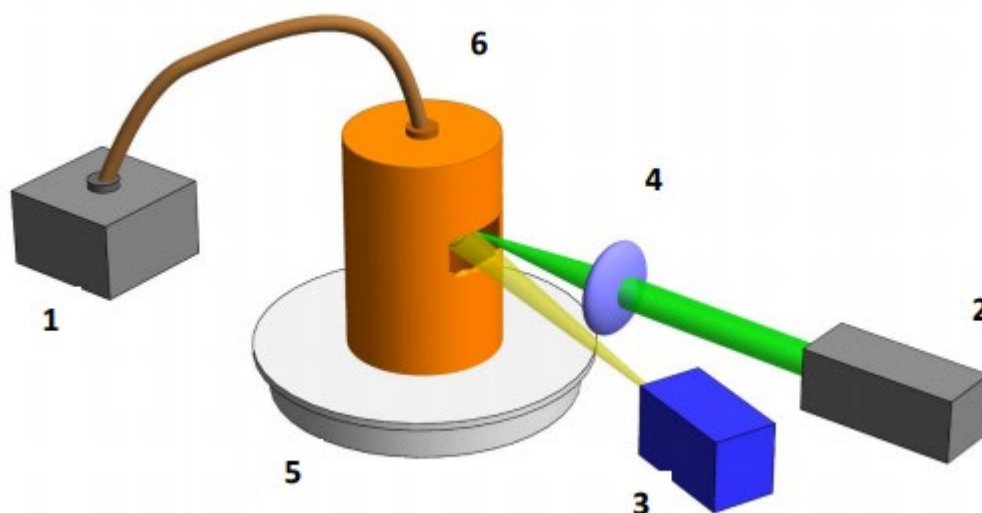


Рисунок 6 – Схема экспериментальной установки

Приготовленное топливо заданного состава помещалось на столик-поддон (5), который в свою очередь вставляется в камеру газификации с оптическим окном (6). После этого камера газификации устанавливается на место в зоне фокусировки луча таким образом, чтобы свет от лазера (2) попадал в оптическое окно на частичку топлива. Подключались трубки газоанализатора для измерения концентраций образующихся газов.

После завершения подготовительного этапа, включались одновременно газоанализатор ТЕСТ 1 (1) и лазер (2) или тепловизор Testo 885-2 (3) с лазером для контроля температур.

В следствие высокоинтенсивного радиационного воздействия лазерного излучения на частицу топлива инициируются процессы нагрева частицы и испарения влаги. Прогрев частицы приводит к термическому разложению органической части угля с дальнейшим выходом летучих.

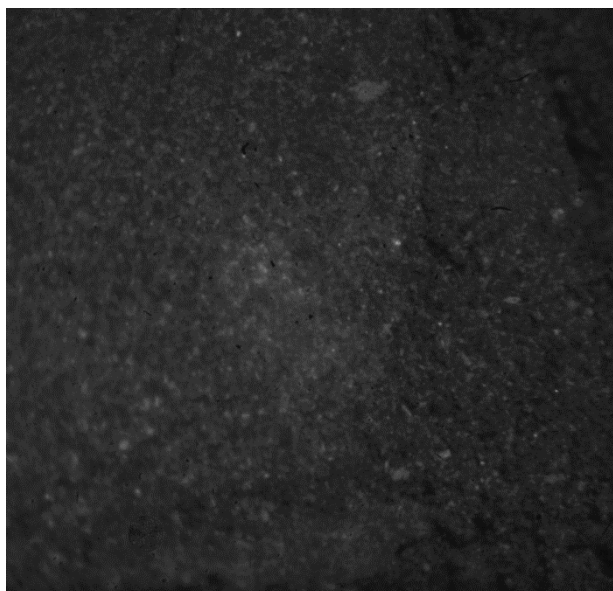
Водяные пары совместно с летучими фильтруются к поверхности частицы, унося с собой часть тепла, присутствующего в объеме топлива. В результате сформировавшаяся парогазовая смесь засасывается газоанализатором для измерения объемных концентраций газов (CO , CO_2 , H_2 , O_2 , SO_2 , NO_x , CH_4). Все стадии термической подготовки (нагрев, выход летучих) фиксировались тепловизором, настроенным на запись максимальной температуры области съемки. Мощность лазерного излучения и пятно фокусировки лазерного луча – 1 Вт и 0,0141 мм². Задержка измерения газоанализатора составляет 5 секунд по паспорту. Эксперимент проводился серией из 12 опытов. В качестве топлива использовался состав с массовыми долями фильтр-кек Г – 60% и вода – 40%.

4 Результаты исследования

4.1 Результаты эксперимента

На рисунке 7 представлены характерные кадры при газификации лазером водоугольной суспензии на основе фильтр-кека угля марки Г (60% кек Г + 40% воды по массе). За момент времени $t=0$ принимается кадр перед непосредственным воздействием лазера на опытный образец (Кадр 1 рисунок 7). Под воздействием высокоинтенсивного лазерного излучения происходит разогрев частицы с последующим испарением влаги, термическим разложением и выгоранием органической части топлива, сначала в пятне освещения (Кадр 3-5 рисунок 7), а потом и в близлежащей к ней области. Испарение влаги и выгорание топлива сопровождается значительной потерей массы с образованием каверн внутри испытываемой частицы в области интенсивного нагрева, об этом свидетельствует образование провала в этой области (Кадры 5 и 6 рисунок 7). Дальнейшее выгорание топлива порождает образование зольной корки, которая препятствует распространению тепла внутрь частицы (Кадры 7-9 рисунок 7). Особенно это хорошо наблюдается при отключении излучения лазера на выжженной области частички топлива (Кадр 9 рисунок 7).

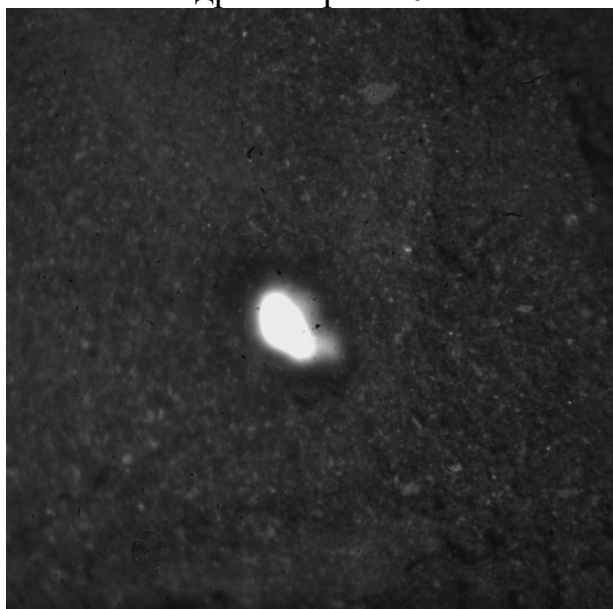
Для состава на основе фильтр-кека Г характерно слабое распространение за пределы пятна освещения, это можно объяснить тем, что при лазерном нагреве такой интенсивности ($I=1.4 \text{ кВт/см}^2$) температуры растут чрезвычайно быстро, что приводит к моментальному выгоранию топлива в области освещения с образованием зольной корки, имеющей коэффициент теплопроводности хуже, чем у исходного состава топлива. Так как топливо в пятне освещения уже выгорело, и зольная корка препятствует распространению теплоты в глубину частицы, близлежащие слои не могут достичь нужного температурного порога термического разложения без дополнительной подпитки в короткие временные сроки (3-5 минут). Как это видно на видеограмме процесс можно отнести к приповерхностным.



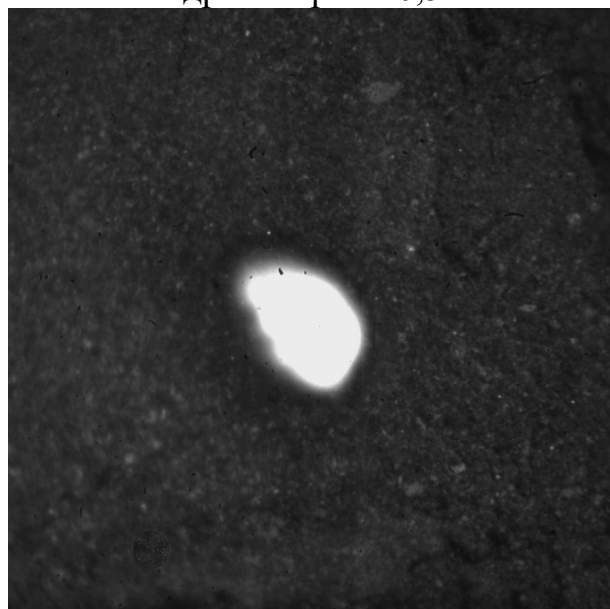
Кадр 1 – Время 0 с



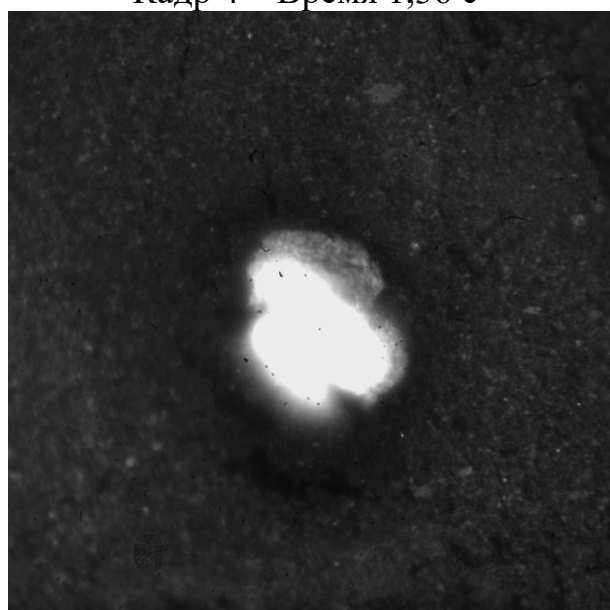
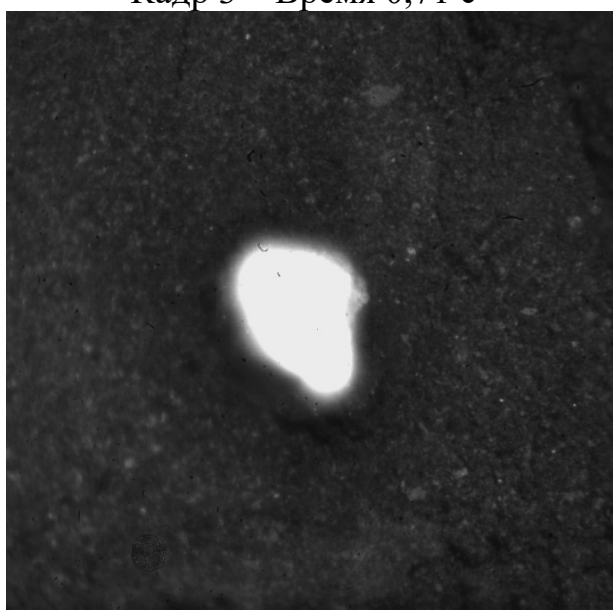
Кадр 2 – Время 0,5 с



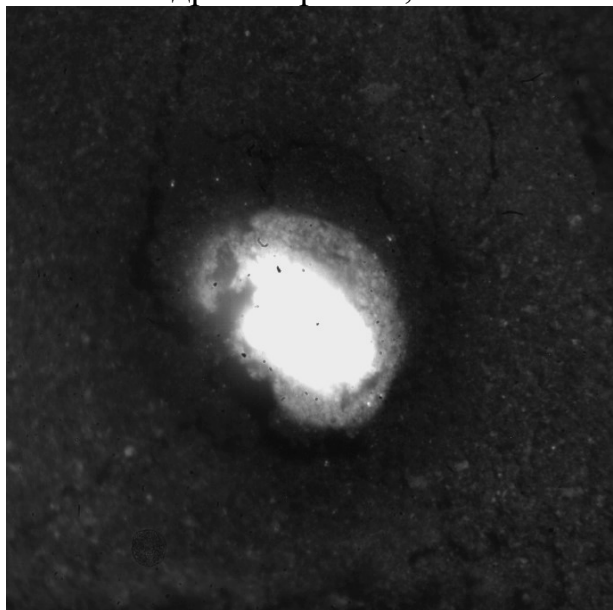
Кадр 3 – Время 0,71 с



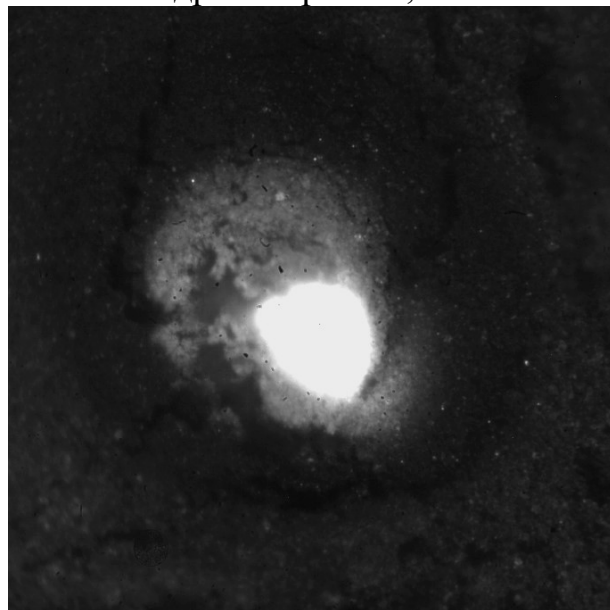
Кадр 4 – Время 1,36 с



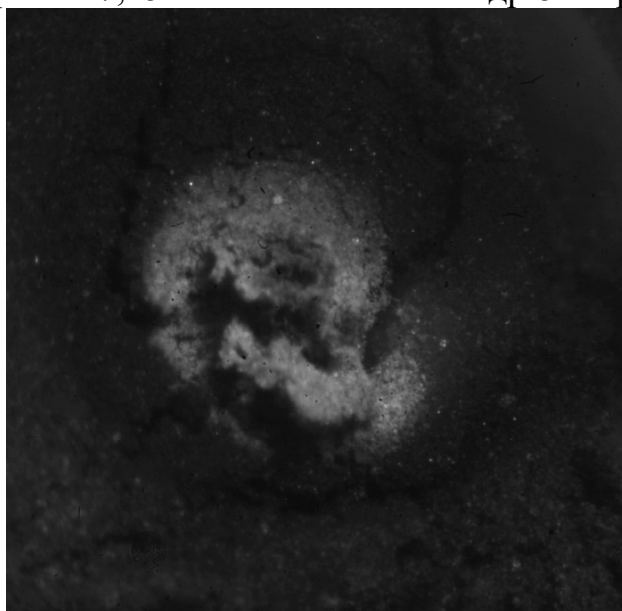
Кадр 5 – Время 2,87 с



Кадр 6 – Время 7,95 с



Кадр 7 – Время 27,15 с



Кадр 8 – Время 75,92 с

Кадр 9 – Время 79,02 с

Рисунок 7 – Характерные кадры газификации лазером при мощности ~ 1 Вт и радиусе фокусировки $R=150$ мкм для водоугольной суспензии на основе фильтр-кека угля марки Г.

По выходным данным эксперимента были получены зависимости объемных концентраций уходящих газов и температуры самой «горячей» точки частицы от времени (рисунки 8-10). Масса вышедшего монооксида углерода примерно на 2 порядка больше, чем массы водорода и оксидов азота, CO_2 и оксиды серы при данном режиме отсутствуют (рисунки 9, 10). Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что для составов на основе фильтр-кека

Г наблюдается доминирующая одноканальная реакция образования монооксида углерода. Это частично объясняется тем, что угарный газ образуется при более высоких температурах, тогда как диоксид углерода при более низких [62,63], а в данном эксперименте температура увеличивалась на 500 К менее, чем за 1 секунду (рисунок 8).

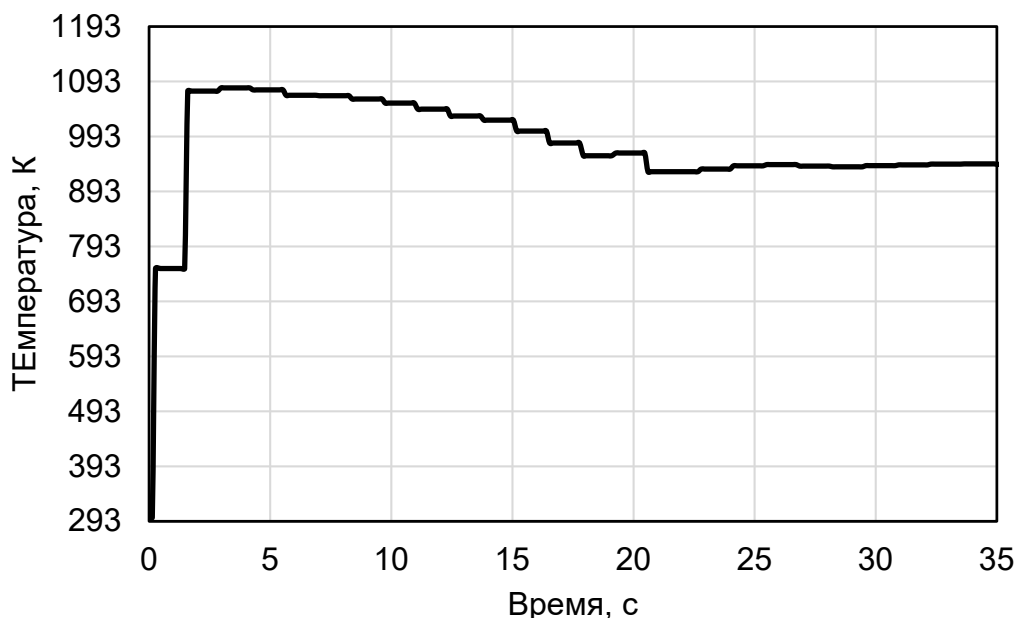


Рисунок 8 – Изменение температуры освещенной поверхности образца от времени.

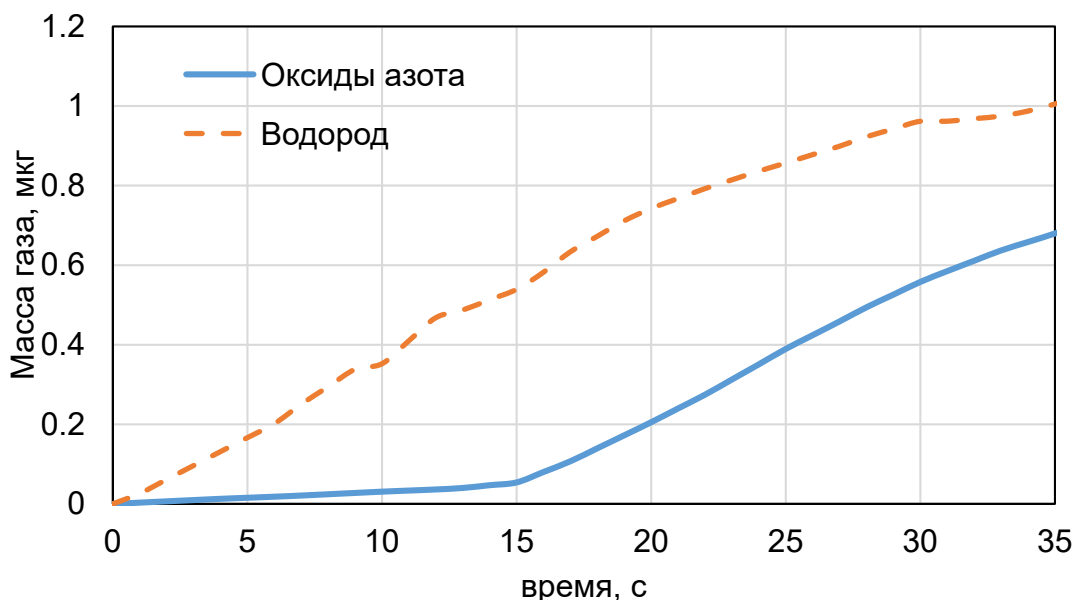


Рисунок 9 – Зависимость массы вышедших газов от времени подвода теплоты

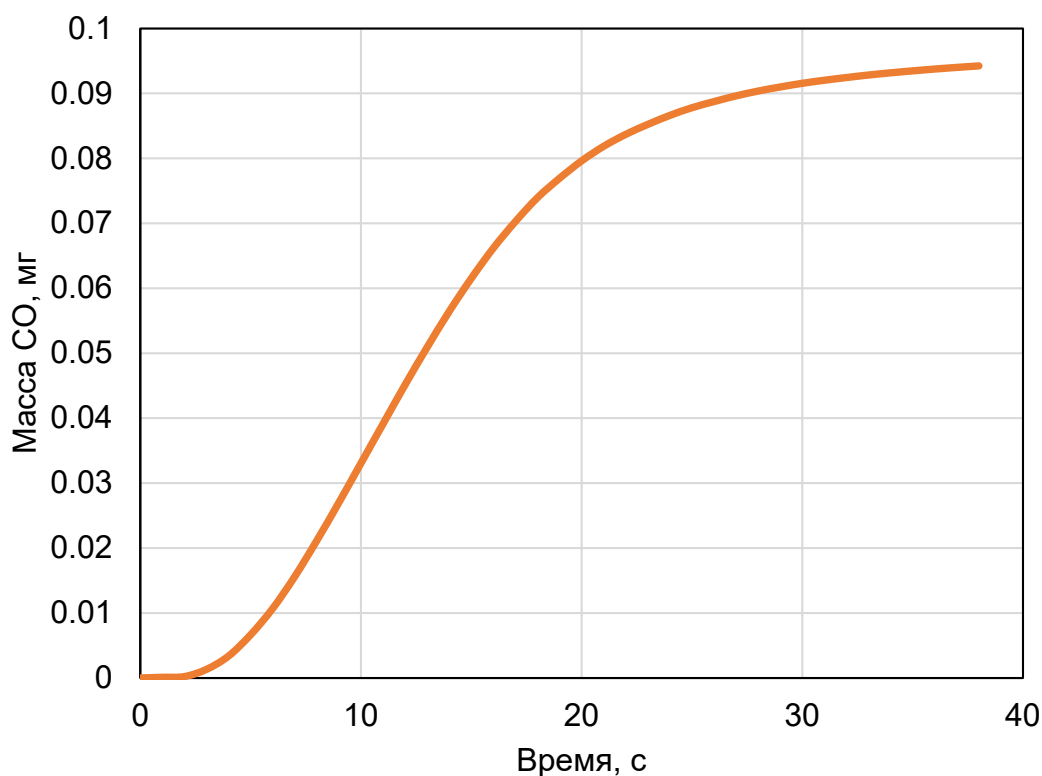


Рисунок 10 – Зависимость массы вышедшего монооксида углерода от времени подвода теплоты

Вид зависимости (рисунок 10) объясняется тем, что высокая скорость увеличения температуры (рисунок 8) в области воздействия лазерного излучения сопровождается быстрым выгоранием приповерхностного слоя с выделением монооксида углерода. После выгорания этого слоя образуется зольная «корка», которая препятствует распространению теплоты вглубь частицы, замедляя ее нагрев, процессы испарения и термического разложения. Соответственно, уменьшается в несколько раз выход летучих (в данном случае CO).

Вследствие доминирования одного канала окисления углерода (образование только CO) представляется целесообразным оценить кинетические параметры эффективной реакции окисления. Для этого используем следующую математическую модель.

5 Постановка задачи

5.1 Физическая постановка

Принята физическая модель процессов тепло- и массопереноса (инертный нагрев, теплоперенос теплопроводностью, конвекцией и излучением) в условиях интенсивных фазовых превращений и физико-химических реакциях, соответствующая условиям эксперимента и установленным при его проведении закономерностям. Решается уравнение теплового баланса для водо-угольной частицы, скорость реакции и концентрация углерода и воды высчитывается из концентрационного уравнения.

В начальный момент времени ($t=0$) образец водо-угольного топлива подвергают лазерному излучению с пятном «освещения» радиуса R_{laz} . Под воздействием сфокусированного лазерного излучения происходит нагрев частицы, с последующей инициацией испарения воды. Скорость испарения и величина эндотермического эффекта зависят от температуры частицы.

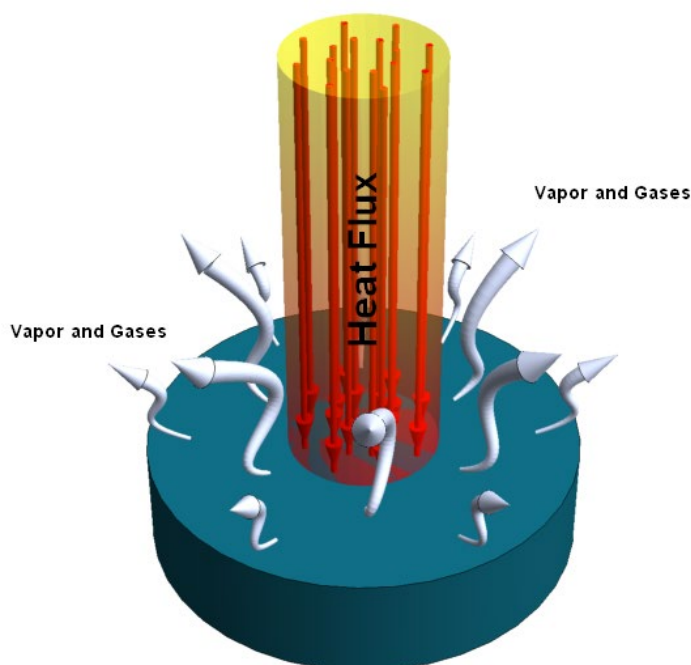
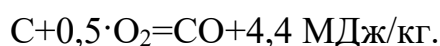


Рисунок 11 – Схема физической модели светоиндуцированной газификации водоугольного топлива.

Исходя из результатов проведенных ранее экспериментальных исследований, можно утверждать, что при такой конфигурации процесса газификации не будет образовываться CO_2 . Производство монооксида углерода явно доминирует над остальными газами (H_2 , NO_x , SO_2 , CH_4). Так как CO_2 не наблюдался в эксперименте, логично сделать предположение, что реакции его производства (формулы 2, 7) протекать не будут, либо он весь будет конвертироваться в CO (формула 4). Метан, выделившийся в результате газификации, при помощи обратной паровой метанации конвертируется в окись углерода и водород (формула 8). Однако в эндотермических реакциях конверсии CO_2 и CH_4 (формулы 4, 8, 9) в CO вторым продуктом является H_2 , но в эксперименте масса выделившегося водорода на два порядка меньше, поэтому на данном этапе можно ими пренебречь.

В ряде работ [62-64] было выяснено, что реакция образования монооксида углерода является высокотемпературной, тогда как диоксид углерода образуется при более низких температурах.

Принимая во внимание вышеизложенные доводы, принимается, что для данного случая доминирующей реакцией является реакция неполного окисления углерода (формула 1):



Скорость реакции экспоненциально возрастает по закону Аррениуса. Вследствие разогрева частицы происходит термическое разложение с выделением угарного газа (CO).

Тепловые потери учтены следующим образом: между частицей и окружающей средой происходит теплоотдача конвекцией. Учтена энергия, затрачиваемая на испарение воды. Также был учтен унос тепла образующимися при газификации газами и парами воды, которые, покидая частицу, забирают часть энергии, потраченной на их нагрев.

5.2 Математическая постановка задачи

Математическая постановка задачи, соответствующая вышеизложенной физической модели, состоит из следующей системы нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных:

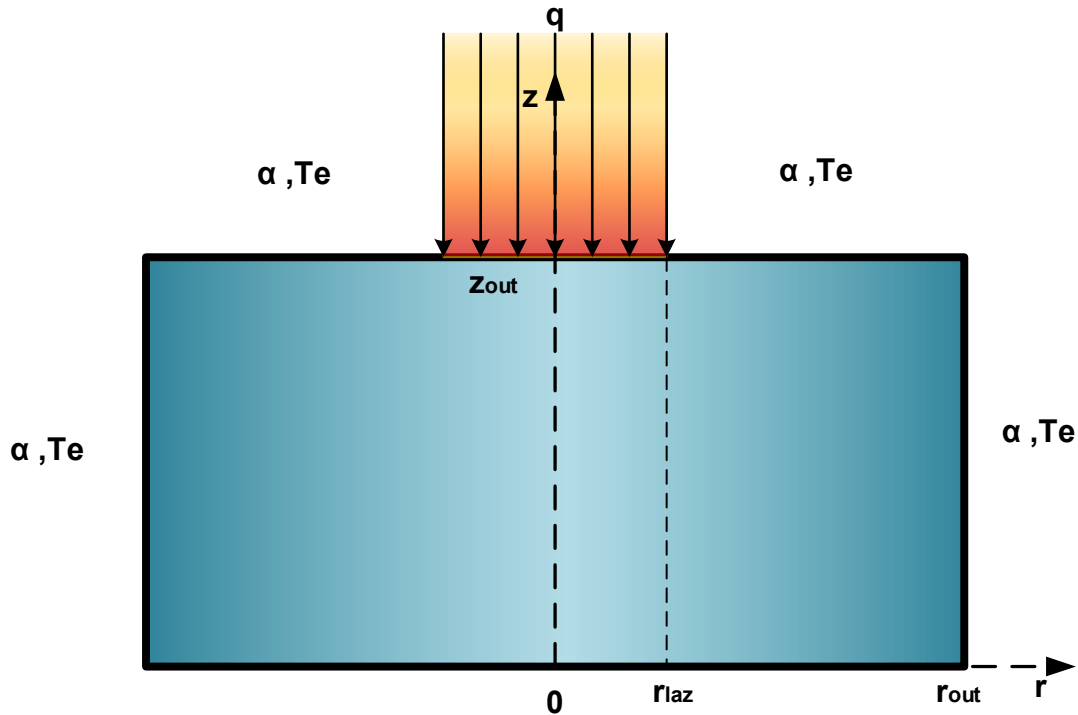


Рисунок 12 – Схема области решения.

- Уравнение теплового баланса для однородной части угля:

$$C_1 \rho_1 \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial t} = \lambda_1 \cdot \left(\frac{\partial^2 T(r, z, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T(r, z, t)}{\partial z^2} \right) \pm \sum Q_i \cdot W_i; \quad (10)$$

$$\text{при } t > 0, \quad 0 < r < r_{out}, \quad 0 < z < z_{out}.$$

- Уравнение химической кинетики окисления углерода:

$$\frac{\partial c(r, z, t)_i}{\partial t} = o_2 \cdot c_i(r, z, t) \cdot W_i, \quad (11)$$

$$\text{при } t > 0, \quad 0 < r < r_{out}, \quad 0 < z < z_{out}.$$

Система уравнений (1-3) была решена при следующих начальных и граничных условиях:

$$0 < r < r_{out}, 0 < z < z_{out} : T(r, z, 0) = T_0, c_i(r, z, 0) = c_{0i}; \quad (12)$$

$$z = z_{out}, 0 \leq r \leq r_{laz} : -\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = q + \alpha \cdot (T - T_e); \quad (13)$$

$$z = z_{out}, r_{laz} < r \leq r_{out} : -\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha \cdot (T - T_e); \quad (14)$$

$$z = 0, 0 \leq r \leq r_{out} : -\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha \cdot (T - T_e); \quad (15)$$

$$r = 0, 0 \leq z \leq z_{out} : \frac{\partial T}{\partial r} = 0; \quad (16)$$

$$r = r_{out}, 0 \leq z \leq z_{out} : -\lambda \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha \cdot (T - T_e); \quad (17)$$

Скорость химической реакции (формула 1) вычислялась из математического выражения закона Аррениуса:

$$W_i = k_i \cdot \exp\left(-\frac{Ea_i}{R \cdot T(r, z, t)}\right); \quad (18)$$

Тепловые потери с улетающими газами/парами воды:

$$Q_i = Cp_i \cdot W_i \cdot \Delta T; \quad (19)$$

Массовая скорость испарения:

$$W_e = W_0 \cdot \exp\left[\frac{Q_e \cdot \mu_w \cdot (T_s - T_f)}{R \cdot T_f \cdot T_s}\right]; \quad (20)$$

Теплофизические характеристики топлива вычислялись по формулам:

$$\begin{aligned} \lambda &= \varphi_f \lambda_f + (1 - \varphi_f) \lambda_w \\ C &= \varphi_f C_f + (1 - \varphi_f) C_w \\ \rho &= \varphi_f \rho_f + (1 - \varphi_f) \rho_w \end{aligned} \quad (21)$$

Данная математическая модель была апробирована в ряде работ [65-68] и доказала свою адекватность при описании процессов горения топлив. Исходные данные и обозначения, использовавшиеся при расчете указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица обозначений используемых в расчете [65,69-71]

Обозначение	Ед. измерения	Значение	Примечание
Переменные			
T	К		Температура
r	м		Радиус
z	м		Высота
t	с		Время
Q _i	Дж		Количество теплоты
W _i	кг/с		Скорость химической реакции
E _{a<i>i</i>}	Дж/моль		Энергия активации
k _i	кг/с		Предэкспонента
c _i	-		Массовая концентрация i-го компонента
Постоянные			
c _{0f}	-	0,6	Массовая концентрация топлива
c _{0w}	-	0,4	Массовая концентрация воды
R	Дж/(моль·К)	8,314	Универсальная газовая постоянная
o ₂	-	0,2	Концентрация кислорода
T _e	К	293	Температура окружающей среды
T ₀	К	293	Начальная температура частицы
T _f	К	273	Температура замерзания воды
W ₀	кг/(м ² ·с)	2.55·10 ⁻⁵	Скорость испарения воды при T _f
q	кВт/см ²	5,67	Интенсивность излучения
r _{laz}	мкм	67	Радиус освещенной области

Продолжение таблицы 1

α	Вт/(м ² ·К)	8	Коэффициент теплоотдачи в окружающую среду
Q_{ox}	МДж	4,4	Теплота реакции неполного окисления углерода
μ_{CO}	кг/моль	0,026	Молярная масса CO
μ_{H_2O}	кг/моль	0,018	Молярная масса воды
μ_C	кг/моль	0,012	Молярная масса углерода
φ_f	-	0,6	Массовая доля топлива
φ_w	-	0,4	Массовая доля воды
λ_f	Вт/(м·К)	0,44	Теплопроводность топлива
λ_w	Вт/(м·К)	0,56	Теплопроводность воды
C_{p_c}	кДж/(кг·К)	1280	Теплоемкость топлива
C_{p_w}	кДж/(кг·К)	4187	Теплоемкость воды
C_{p_v}	кДж/(кг·К)	2076	Теплоемкость водяных паров при атмосферном давлении
ρ_f	кг/м ³	1370	Плотность топлива
ρ_w	кг/м ³	1000	Плотность воды
r_{out}	мм	2	Радиус частицы
z_{out}	мм	1	Высота частицы

6 Результаты математического моделирования

Температурное распределение является одним из основных параметров, позволяющим оценить результаты математического моделирования. От температуры зависят практически все процессы в данной модели, такие как окисление углеродной части топлива, испарение воды, выход результирующих газов.

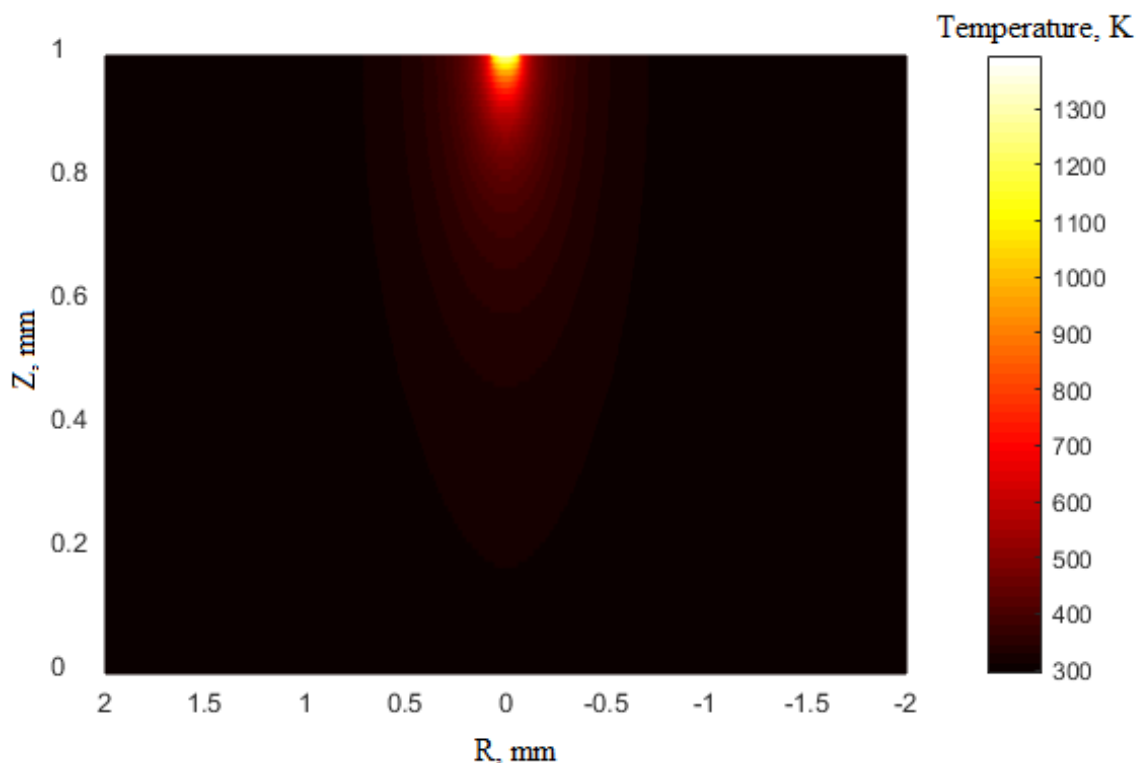


Рисунок 13 – Распределение температур топливной частицы на момент времени $t=24$ с.

На рисунке 13 изображено распределение температур внутри частицы водоугольной суспензии (60% кек Г + 40 % вода). Сравнивая с результатами полученными на рисунке 8 , можно утверждать, что результаты численного моделирования соответствуют экспериментальным: для математической модели средняя температура по приповерхностному слою толщиной 50 мкм составила 1133 К, а самая «горячая» точка согласно рисунку 8 составила 1093 К.

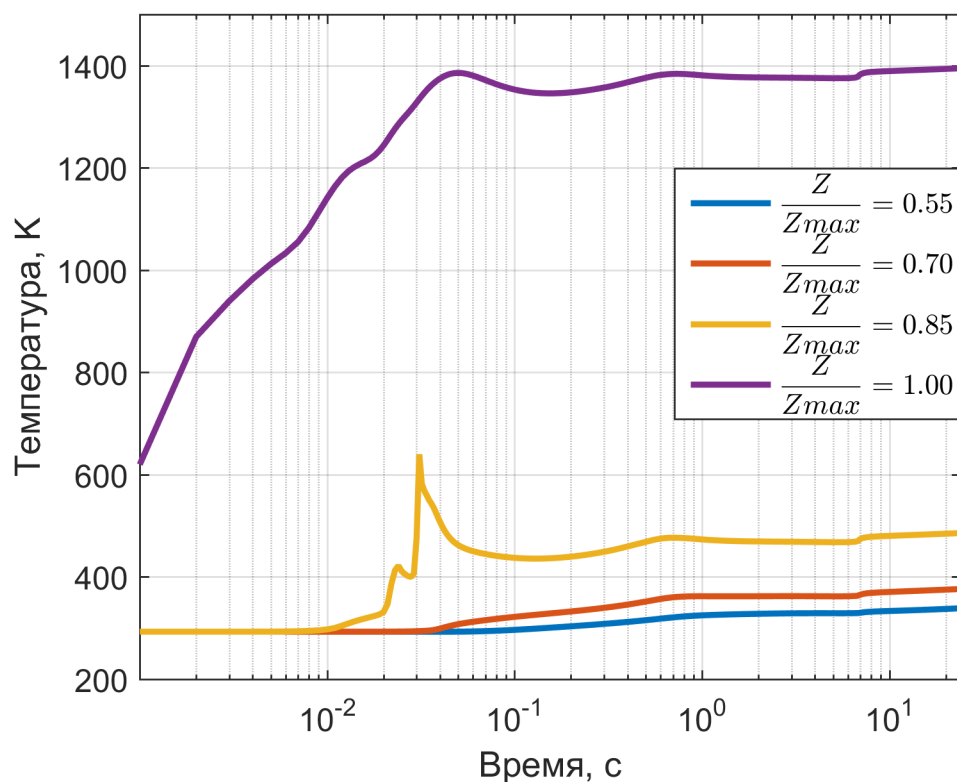
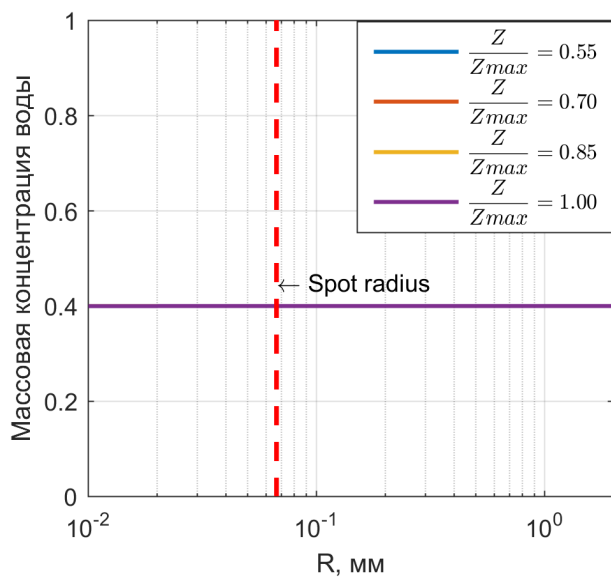
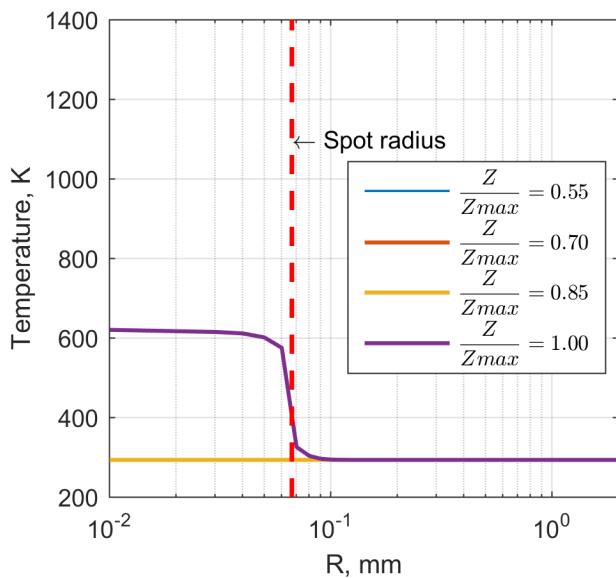
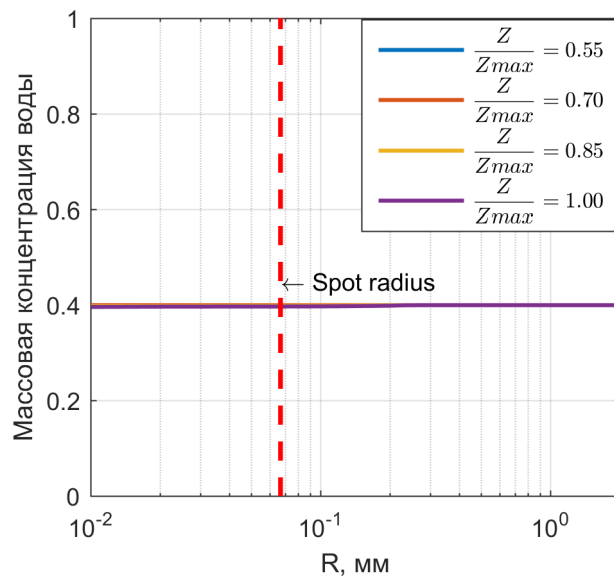
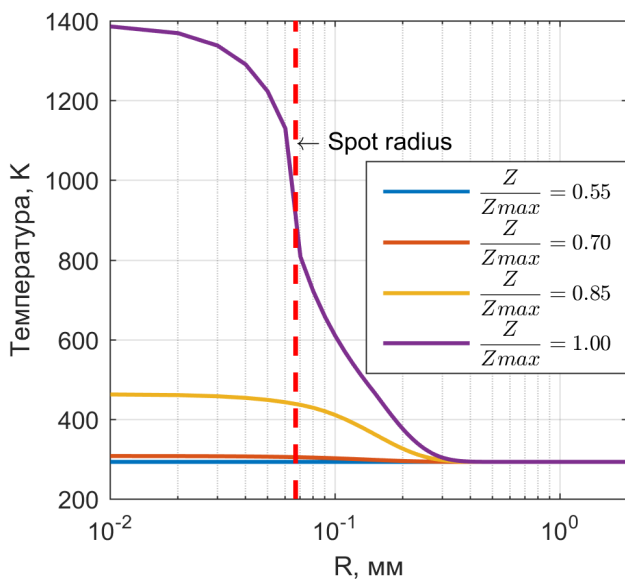


Рисунок 14 – Зависимость максимальной температуры по радиусу частицы от времени на различной глубине частицы

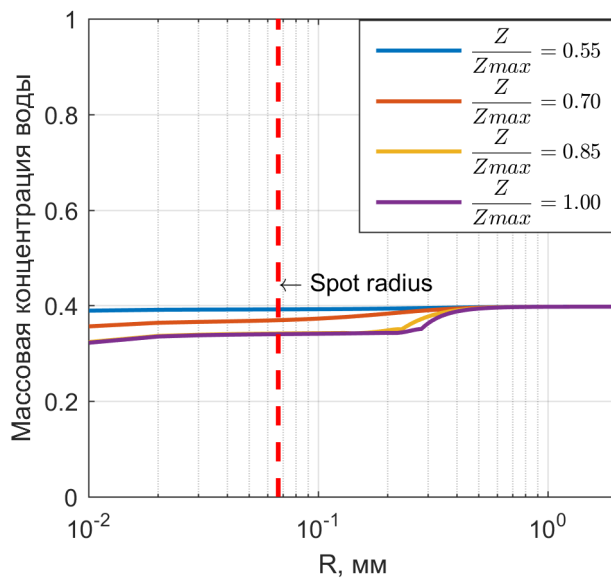
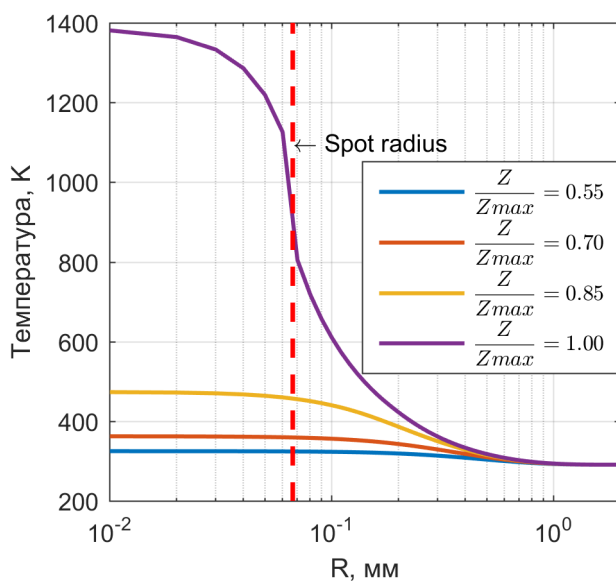
На рисунке 14 представлена зависимость максимальной температуры по радиусу частицы от времени на различной глубине частицы. Анализ зависимости показал, что при высоте 0,55 от Z_{max} максимальный прирост температуры наблюдается для момента времени 1 с. Это можно объяснить быстрым ростом температуры и выгоранием углерода вглубь частицы, сопровождающимся выделением большого количества теплоты. Тогда как в последующие моменты времени таких резких скачков температуры не наблюдалось ни в эксперименте, ни в результатах моделирования (рисунки 8, 15). Необходимо отметить, что для высот 0,7, 0,85 и 1 от Z_{max} наблюдаются флуктуации температуры от времени, и чем ближе к поверхности (больше параметр Z/Z_{max}), тем значительнее они становятся. Особенно это заметно в момент времени 0,03 с и относительной высоте 0,85. Данное явление объясняется конверсией новых слоев топлива по мере увеличения температуры частицы за счет ее прогрева световым излучением.



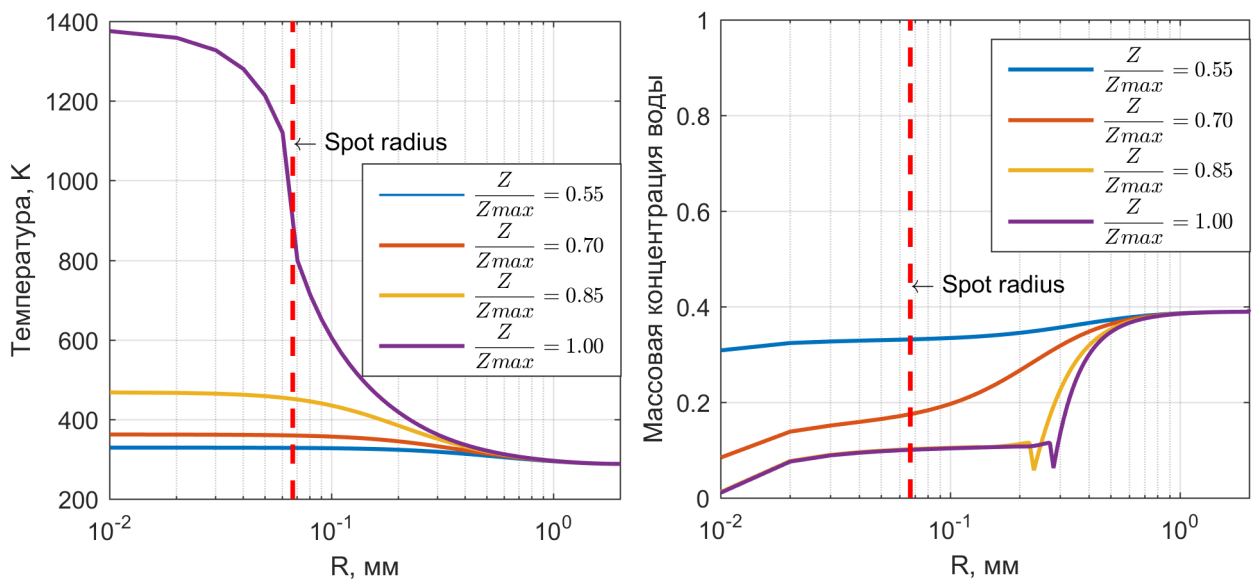
а) Время 0,001 с



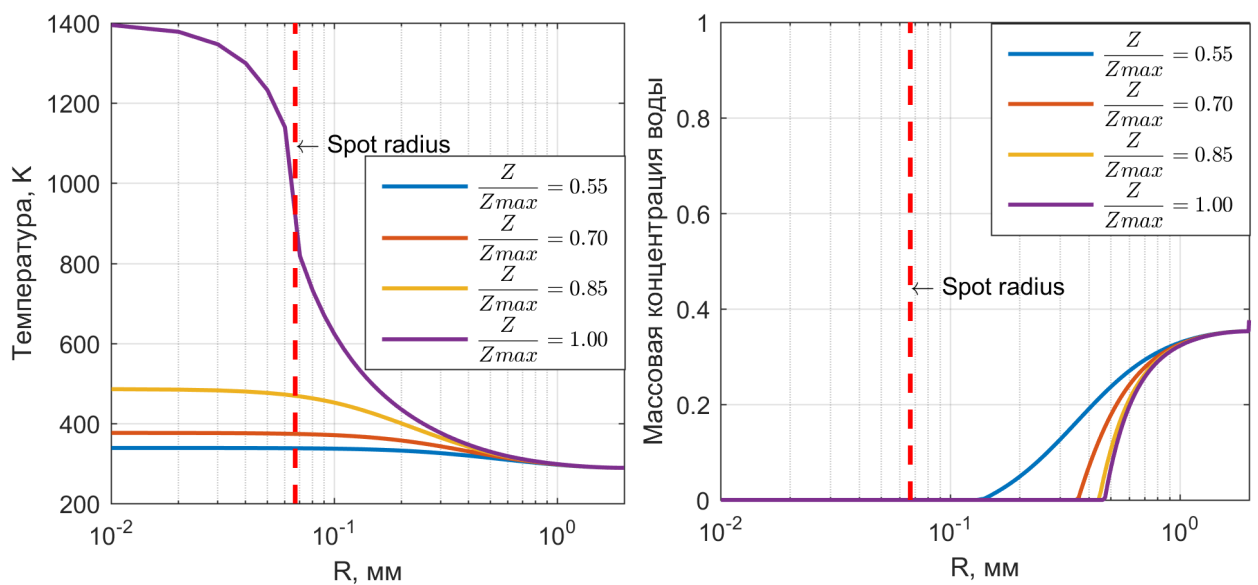
б) Время 0,05 с



в) Время 1 с



г) Время 5 с



д) Время 24 с

Рисунок 15 – Зависимость радиального распределения температур и концентраций для нескольких ключевых для процесса моментов времени

Момент времени $t=0.001$ соответствует началу воздействия (рисунок 15 а) лазерного излучения на поверхность частицы. Происходит прогрев области освещения до установления стационарного режима для этой области в момент времени 1 с (рисунок 15 б). Как видно из графика скорость испарения воды из частицы намного меньше скорости нагрева пятна освещения (рисунок 15 а, б), следовательно основная часть топлива будет проходить этап пиролиза совместно с водяным паром, что подтверждает начальное предположение о

причинах отсутствия CO_2 в экспериментальных данных. Далее следует фаза плавного нагрева частицы совместно с интенсивным испарением влаги (рисунок 15 в). При сгорании «свежих» слоев топлива происходит выделение теплоты, что приводит к локальным минимумам концентраций воды вблизи зоны реакции, (рисунок 15 г). Потом происходит дальнейшие нагрев и сушка частицы и выход газов (рисунок 15 д). Зависимость распределения температуры по радиусу частицы показывает, что приповерхностные температуры практически не изменяются со временем (стационарный режим). Тогда как в глубине частице происходит постепенный прогрев с испарением влаги за счет высвободившейся теплоты прореагировавшего топлива и подкачки теплоты из освещенной области.

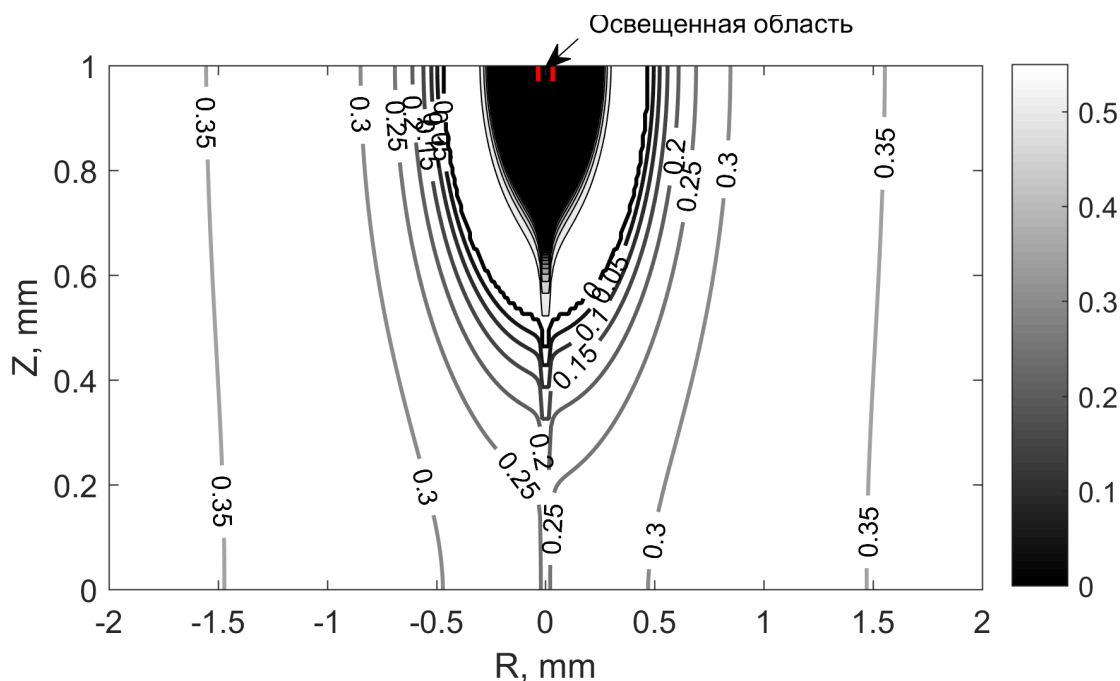


Рисунок 16 – Распределение концентраций углерода (цветом) и воды (изолинии с подписью значения) в частице на момент времени $t=24$ с.

На рисунке 16 изображены распределения концентраций углерода и воды на момент времени 24 с при условиях, соответствующих экспериментальным. Как уже утверждалось ранее процесс можно считать приповерхностным, о чем свидетельствует увеличение радиуса пятна выгоревшего топлива в 9 раз по сравнению с начальной областью освещения (с 67 мкм до 0,6 мм, рисунок 16). Выгорание топлива вглубь составило всего

0,34 мм (рисунок 16), но необходимо отметить, что данная модель не учитывает образование зольной корки, которая препятствует распространению тепла вглубь частицы. Поэтому реальная глубина выгорания может оказаться еще меньше, чем полученная по результатам моделирования процесса светоиндуцированной газификации.

Увеличивая фокусировку теплового потока можно ожидать большей проникающей способности, однако результаты моделирования показывают, что процесс расплзается по поверхности сильнее, чем вглубь. Конический вид распределения концентраций является следствием того, что теплота, полученная от экзотермических реакций, гораздо меньше теплоты внешней подкачки за счет излучения. Данный эффект подтверждает аллотермичность процесса.

Для определения оптимальных кинетических параметров реакции окисления углерода была проведена многократная симуляция процесса с перебором параметров E_a и K в диапазонах $E_a=40\div 170$ кДж/моль и $K=0,001\div 8000$ кг/с. Для оценки сходимости рассчитанного и измеренного трендов использовался метод наименьших квадратов.

На рисунке 17 изображена зависимость массы выделившегося монооксида углерода от времени подвода теплоты для экспериментальных результатов и результатов математического моделирования. Данная зависимость была получена с использованием оптимальных значений энергии активации и предэкспоненты ($E_a=100$ кДж/моль и $K=5175$ кг/с).

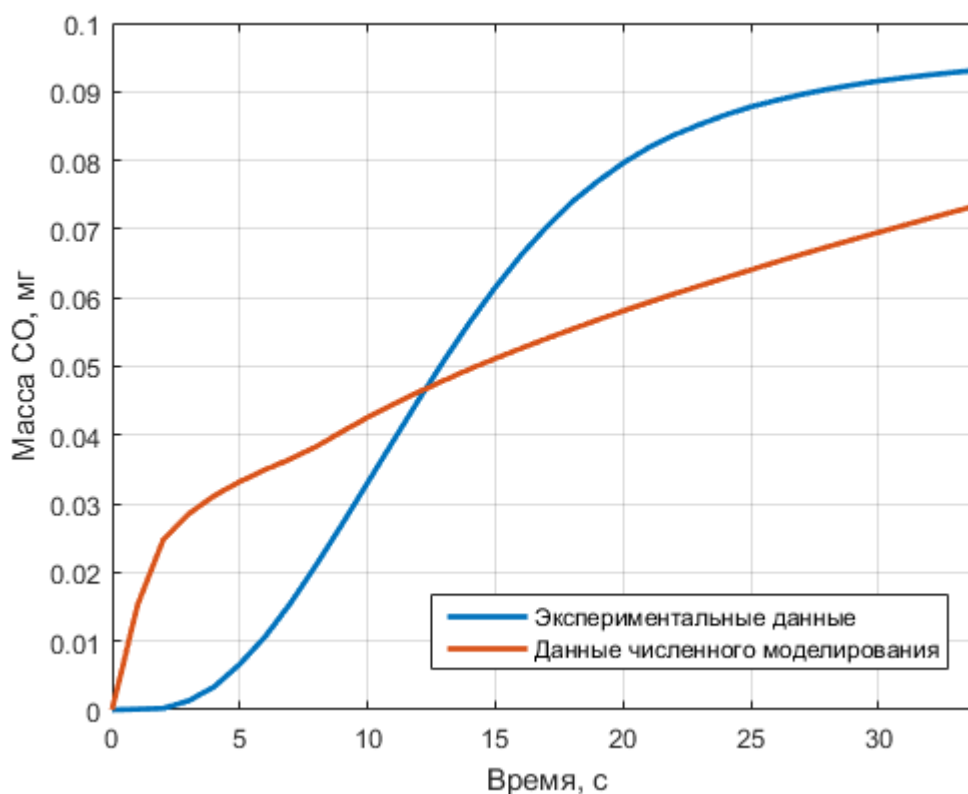


Рисунок 17 – Зависимость массы вышедшего CO от времени, сравнение экспериментальных данных с результатами математического моделирования

Несмотря на кажущееся различие, основным параметром является качественное совпадение кривых. Отличие составляет начальный участок, где видно, что нарастание массы у смоделированной кривой выше, чем у экспериментальной. Данный факт является следствием того, что в текущей математической модели не учтено динамическое изменение теплофизических параметров топливной частицы во времени и образование зольной корки, которые влияют на скорость нагрева и, как следствие, на скорость выхода CO. Также на текущем этапе не были учтены механизмы потерь за счет протекания эндотермических реакций (формулы 4, 8). После части “разгона” сходимость кривых будет увеличиваться

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ71	Табурчинову Роману Ильичу

Школа	ИШЭ	Отделение	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. 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	Проведение оценки экономической эффективности светоиндуцированной газификации.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Расчёт денежного потока
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН	Жаворонок Анастасия Валерьевна	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ71	Табурчинов Роман Ильич		

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и

ресурсосбережение

7.1 Предпроектный анализ

7.1.1 Анализ конкурентных решений

Данный метод газификации водоугольного топлива является уникальным в своем роде, так как использует солнечное излучение в качестве основного источника энергии, аналогичных методов не обнаружено. Так как основной целью светоиндуцированной газификации является утилизация отходов углеобогащения. Поэтому в качестве конкурентов были рассмотрены несколько других методов газификации:

1. Газификация в неподвижном слое
2. Газификация в кипящем слое
3. Газификация в пылевом слое

Экспертная оценка основных технических характеристик данных продуктов представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
			Бф	Бк1	Бк2	Бк3	Кф	К1	К2	К3
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности										
1	Размер частиц	0.01	5	2	3	5	0.05	0.02	0.03	0.05
2	Температура в газогенераторе	0.05	3	2	5	3	0.15	0.1	0.25	0.15
3	Зависимость от внешних факторов	0.2	1	4	4	4	0.2	0.8	0.8	0.8
4	Энергоэкономичность	0.3	5	2	1	1	1.5	0.6	0.3	0.3
5	Давление в реакторе	0.15	5	3	3	2	0.75	0.45	0.45	0.3
6	Теплотворная способность	0.07	3	3	4	5	0.21	0.21	0.28	0.35
7	Простота эксплуатации	0.05	5	4	3	3	0.25	0.2	0.15	0.15

Продолжение таблицы 2

8	Экологичность	0.1	5	4	4	4	0.5	0.4	0.4	0.4
Экономические критерии оценки эффективности										
1	Конкурентоспособность продукта	0.01	3	5	4	4	0.03	0.05	0.04	0.04
2	Уровень проникновения на рынок	0.01	1	4	5	5	0.01	0.04	0.05	0.05
5	Финансирование научной разработки	0.04	5	4	5	4	0.2	0.16	0.2	0.16
6	Срок выхода на рынок	0.01	1	5	5	5	0.01	0.05	0.05	0.05
	Итого	1	42	42	46	45	3.86	3.08	3	2.8

Основные преимущества свето-индуцированной газификации в том, что данный метод не требует высоких давлений, а, следовательно, снижаются капитальные затраты и опасность для персонала; также метод использует излучение солнца в качестве основного источника энергии, что позволяет ему сократить затраты энергии на собственные нужды; еще одним преимуществом метода является использование в качестве исходного сырья отходов углеобогащения.

Основными преимуществами конкурирующих методов можно назвать степень их внедренность на рынок энергетики. Крупные компании, такие как «General Electrics», «Mitsubishi», «Shell», «Siemens» предлагают готовые технологические решения для газификации угля.

7.1.1.1 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 3.

Таблица 3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Наличие бюджетного финансирования С5. Доступ к платным ресурсам посредством студенческих поддержек</p>	<p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Низкая теплотворная способность продукта Сл3. Высокие денежные затраты на разработку Сл4. Отсутствие инжиниринговой компании, способной настроить производство под ключ. Сл5. Малая проработанность технологии.</p>
Возможности		
В1 Использование инновационной структуры ТПУ	<p>В1С5. Использование бесплатных сервисов для студентов позволит использовать программное ПО бесплатно для создания математической модели, а использование инновационной структуры ТПУ позволит имеющееся оборудование для проведения экспериментов, а не закупать новое.</p>	<p>В1Сл3 Поддержка доменного имени может увеличить денежные затраты. В3В4Сл1Сл2Сл3Сл5 Малаая проработанность технологии, низкая теплота сгорания продукта вкупе с высокими затратами на разработку при отсутствии действующего прототипа препятствуют получению дополнительного финансирования и выходу технологии на рынок</p>
В2 Публикация научных статей	<p>В2С5. Доступ к базам данным по студенческой подписке упростит анализ имеющихся научных работ для публикации новых статей. В2В3С1С2С3. Заявленная экономичность, экологичность и энергоэффективность технологии позволит публиковать научные статьи по данной тематике, что спровоцирует продление существующего бюджетного финансирования.</p>	<p>В4Сл4 Выход на рынок будет затруднен из-за отсутствия инжиниринговой компании, способной настроить производство под ключ. В5Сл1 Модернизация метода требует наличие результата, который нужно улучшить по тем или иным показателям, без прототипа это будет крайне затруднительно.</p>
В3 Получение финансирования проекта	<p>В2В3С1С2С3. Заявленная экономичность, экологичность и энергоэффективность технологии позволит публиковать научные статьи по данной тематике, что спровоцирует продление существующего бюджетного финансирования.</p>	<p>В5Сл3 Высокие денежные затраты препятствуют дальнейшему развитию технологии.</p>
В4 Выход системы на рынок		

Продолжение таблицы 3

<p>В5 Модернизация метода газификации</p>	<p>В4В5С1С2С3С4. Заявленная экономичность, экологичность и энергоэффективность технологии позволит при наличии бюджетного финансирования позволит дальше модифицировать данный метод газификации топлива с дальнейшим выходом продукта на рынок.</p>	
<p>Угрозы</p>		
<p>У1 Отсутствие спроса на новые технологии в данной области</p>	<p>У2С3 Более низкая стоимость производства позволит при несвоевременном финансовом обеспечении исследования со стороны государства привлечь дополнительные инвестиции. У2С5 Доступ к платным ресурсам посредством студенческих подписок позволит сократить затраты и несвоевременное финансовое обеспечение исследования со стороны государства не так сильно скажется на разработке технологии.</p>	<p>У1Сл4 Отсутствие спроса на новые технологии и компании, способной настроить производство под ключ, приведут к тотальной неконкурентоспособности технологии. У1У2Сл3 Отсутствие спроса на новые технологии и задержка финансирования приведут к тому, что развитие и разработка проекта останутся ввиду высоких затрат на него.</p>
<p>У2 Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>У4С1С2С3С4 При появлении более совершенной технологии такие сильные стороны, как энергоэффективность, экологичность, более низкая стоимость производства теряют свою «силу» и потребуются поиск новых сильных сторон.</p>	<p>У1У2Сл5 Отсутствие спроса на новые технологии производства и несвоевременное финансовое обеспечение при малой проработанности технологии не позволят извлечь выгоду из проекта.</p>
<p>У3 Потеря актуальности</p>		<p>У3У4Сл3Сл4Сл5 Разработка более совершенной технологии приведет к потере актуальности и малая проработанность технологии не позволит инжиниринговым компаниям настраивать технологию под ключ, учитывая высокие затраты на разработку проекту понадобится бюджетное финансирование.</p>

Продолжение таблицы 3

У4 Разработка более совершенной технологии конкурентами		У4Сл1 Отсутствие прототипа научной разработки негативно скажется на конкурентоспособность технологии при появлении более совершенной технологии газификации
---	--	---

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Соотношения параметров представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	0	+
	B2	+	+	+	0	+
	B3	+	+	+	-	0
	B4	+	+	+	+	0
	B5	+	+	+	+	-

Возможности проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	СЛ5
	B1	-	-	-	-	0
	B2	-	-	+	-	-
	B3	+	+	+	0	+
	B4	+	+	+	+	+
	B5	+	-	+	0	0

Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	0	0	+	0	+
	У3	-	-	0	-	0
	У4	+	+	+	+	-

Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	СЛ5
	У1	+	0	+	+	+
	У2	0	0	+	0	+
	У3	0	0	+	+	+
	У4	+	0	+	+	+

7.1.1.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и

выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	2
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	2
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	1
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1

Продолжение таблицы 5

15.	Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
	ИТОГО БАЛЛОВ	29	22

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 29 до 15, что говорит о перспективности проекта ниже среднего с точки зрения коммерциализации.

7.1.1.3 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Перспективность данного научного исследования с точки зрения скорой коммерциализации ниже среднего, поэтому не все аспекты рассмотрены и изучены. Это связано с тем, что на данном этапе целью научно-исследовательского проекта является не внедрение на рынок сбыта готового продукта, а наработка теоретической и экспериментальной базы для дальнейших исследований. Поэтому рассматривать методы коммерциализации при отсутствии готового продукта не представляется целесообразным.

7.1.1.4 Инициация проекта

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.

7.1.1.5 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 6:

Таблица 6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Государство (бюджетное финансирование)	Выполнение исследований на данную тематику.
Университет (ТПУ)	Повышение показателей за счет публикаций научных работ на данную тематику сотрудниками ТПУ.
Научный руководитель, студент	Выполненная выпускная квалификационная работа. Публикация научных работ на данную тематику.
Экологическое сообщество Углеобогащительные фабрики	Получение нового метода утилизации отходов углеобогащения при помощи солнечного излучения. Снижение воздействия гидроотвалов на окружающую среду.

Цели и результат проекта представлены в таблице 7:

Таблица 7 – Цели и результат проекта

Цель проекта:	Создать математическую модель, описывающую светоиндуцированную газификацию водоугольного топлива и сопоставить ее с экспериментальными результатами к сроку защиты ВКР.
Ожидаемые результаты проекта:	Математическая модель, сопоставленная с результатами эксперимента
Критерии приемки результата проекта:	Публикации научных работ по тематике исследования.
Требования к результату проекта:	Требование: <ul style="list-style-type: none"> • Адекватность результатов, полученных с помощью модели процесса светоиндуцированной газификации водоугольного топлива. • Анализ результатов варьирования ряда параметров (времени, интенсивности и площади нагрева, влажности топлива) на выход продуктов газификации.

7.1.2 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

реализованных в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (таблица 8).

Таблица 8 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1.2.3.1 Бюджет проекта	250 000 рублей
1.2.3.1.1 Источник финансирования	НИТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	15.06.2018 – 31.05.2019
1.2.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	01.09.2018
1.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2019

7.2 Планирование управления научно-техническим проектом

7.2.1 Иерархическая структура работ проекта

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

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 18 представлена иерархическая структура проекта.

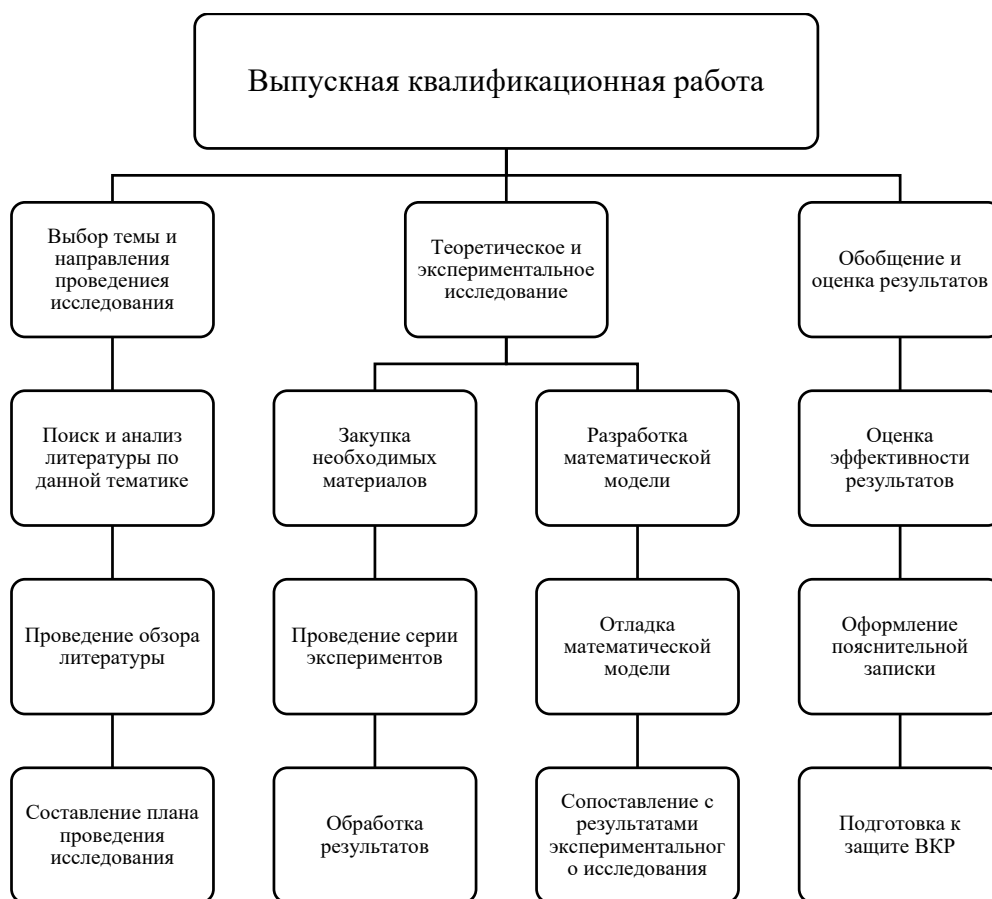


Рисунок 18 – Иерархическая структура по ВКР

7.2.2 План проекта

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится при помощи таблицы 9 – Перечень работ и время их выполнения за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 9 – Перечень работ и время их выполнения

№ п/п	Наименование работ	Продолжительность, дней	
		Исполнитель	Руководитель
1.	Выбор темы и направления проведения исследования	2	2
2.	Поиск и анализ статей по данной тематике, проведение обзора	10	1
3.	Составление плана проведения исследования и выбор метода обработки данных. Постановка задач и целей исследования.	3	2
4.	Закупка необходимого (недостающего) оборудования, инструментов, деталей. Заказ сырья.	16	4
5.	Разработка математической модели	25	7
6.	Отладка математической модели	60	14
7.	Установка и подключение всего оборудования	1	1
8.	Проведение эксперимента	3	1
9.	Обработка результатов	45	15
10.	Проведение дополнительных экспериментов с целью перепроверки неверных результатов и оценки повторяемости эксперимента	2	1
11.	Обработка дополнительных результатов	20	4
12.	Сравнение результатов с результатами, полученными ранее в аналогичных теоретических исследованиях; написание выводов	17	5
13.	Оформление проделанной работы, составление пояснительной записки	13	3
14.	Проверка проекта	20	5
Итого:		237	65

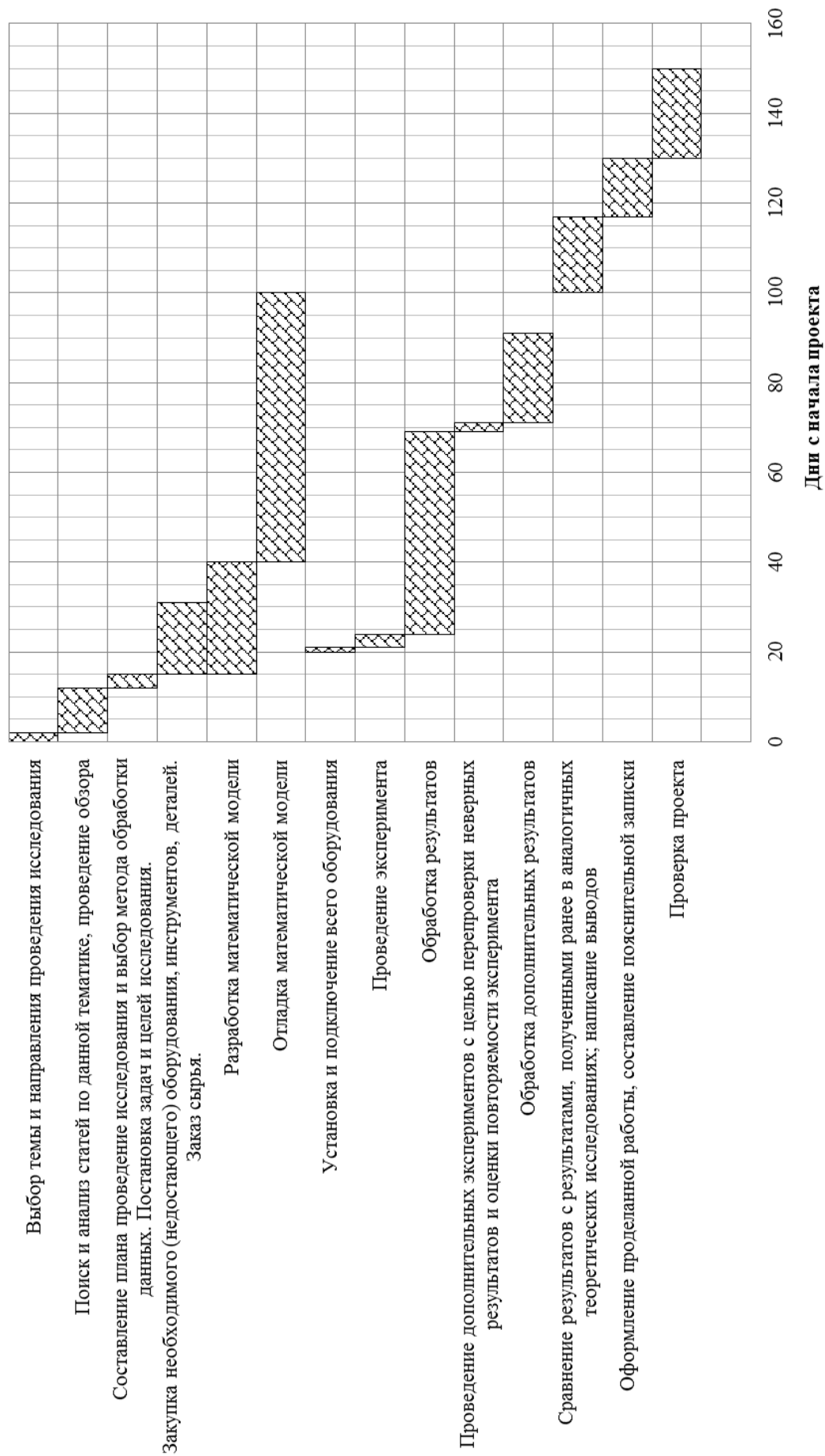


Рисунок 19 – Календарный план проекта

7.3 Бюджет научного исследования

Совокупность затрат на проект определяются по следующей формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}}, \text{ руб.}, \quad (1)$$

где $K_{\text{мат}}$ - материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ -амортизация оборудования;

$K_{\text{з/пл}}$ - затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о}}$ - затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ - прочие затраты;

7.3.1 Материальные затраты

В данной работе под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на расходные материалы: топливо и электроэнергию.

Затраты на топливо составляют 0 рублей.

Тариф на электроэнергию для НИ ТПУ составляет 106,85 руб/МВтч.

Таблица 10 – Затраты на электроэнергию

№ п/п	Наименование элемента	Потребление ЭЭ, кВтч	Время работы, ч	Затраты на ЭЭ, руб.
1.	Компьютер	0,44	2520	118,48
2.	Экспериментальный стенд	0,063	60	0,4
			Итого:	118,88 руб.

7.3.2 Амортизация капитальных затрат

Амортизация показывает уменьшение стоимости оборудования, на котором выполнялась работа, вследствие его износа. Амортизация оборудования рассчитывается как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ руб.}, \quad (22)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ - время использования оборудования;

$T_{\text{кал}}$ - календарное время;

$C_{кт}$ - цена оборудования;

$T_{сл}$ - срок службы оборудования.

Таблица 11 – Капитальные затраты

Наименование оборудования	Стоимость, тыс. руб.	Срок службы	Время использования, дни	Сумма амортизации, руб.
Газоанализатор ТЕСТ 1	1000	10 лет	5	1369.86
Аналитические весы Vibra AF 225DRCE	260	5 лет	5	712.33
Тепловизор Testo 885-2	600	8 лет	5	1027.40
Лазерный модуль KLM-532/h 1000	200	6000 ч	5	1333.33
Система фокусировки светового пучка	50	20 лет	5	34.25
Компьютер	150	7 лет	210	12328.77
Система вытяжной вентиляции	36	6 лет	5	82.19
			Итого:	16888,13 руб.

7.3.3 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату включают в себя выплаты инженеру, разрабатывающему проект, а также научному руководителю и рассчитываются как:

$$K_{з/пл} = ЗП_{и}^{\phi} + ЗП_{нр}^{\phi} \text{ руб,} \quad (23)$$

где $ЗП_{и}^{\phi}$ - фактическая заработная плата исполнителя,

$ЗП_{нр}^{\phi}$ - заработная плата научного руководителя.

Месячный оклад:

$$ЗП_{и}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 1906 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 2725,58 \text{ руб;} \quad (24)$$

$$ЗП_{нр}^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 20743,41 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 29663,08 \text{ руб,} \quad (25)$$

где $ЗП_{и}^M$ - месячная заработная плата исполнителя;

$ЗП_{\text{нр}}^{\text{м}}$ - месячная заработная плата научного руководителя;

$ЗП_0$ - месячный оклад (исполнитель 1906 руб., научный руководитель 20743,41 руб.);

K_1 – коэффициент учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%);

K_2 - районный коэффициент, равен 1,3 (30%).

Фактическая заработная плата:

$$ЗП_{\text{ф}} = \frac{ЗП_{\text{мес}}}{21} \cdot n^{\text{ф}} \text{ руб}, \quad (26)$$

где $ЗП_{\text{мес}}$ - месячная заработная плата;

21 - среднее число рабочих дней в месяце;

$n^{\text{ф}}$ - фактическое число дней в проекте.

Исполнитель:

$$ЗП_{\text{инж}}^{\text{ф}} = \frac{2725,58}{21} \cdot 237 = 30760,12 \text{ руб}. \quad (8)$$

Научный руководитель:

$$ЗП_{\text{нр}}^{\text{ф}} = \frac{29663,08}{21} \cdot 65 = 91814,28 \text{ руб}. \quad (27)$$

$$K_{\text{з/пл}} = 30760,12 + 91814,28 = 122574,4 \text{ руб}. \quad (28)$$

7.3.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату, они включают в себя отчисления в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования.

$$K_{\text{соц/н}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 0,3 \text{ руб}. \quad (29)$$

$$K_{\text{соц/н}} = 122574,4 \cdot 0,3 = 26543,06 \text{ руб}. \quad (30)$$

7.3.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 15 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,15, \text{ руб}. \quad (31)$$

$$K_{\text{пр}} = (118,88 + 16888,13 + 122574,4 + 36772,32) \cdot 0,15 = 26453,06 \text{ руб.} \quad (32)$$

В таблице 12 – Смета затрат на проект представлена смета затрат на проект. Для оценки себестоимости проекта необходимо рассмотреть другой вариант его исполнения. Допустим проект выполнялся бы какой-либо другой организацией только экспериментальным методом без доступа к информационной структуре ТПУ и сотрудником, имеющим минимальный размер заработной платы. Второй вариант рассмотрен для следующих условий:

- тариф на электроэнергию для потребителей, приравненных к населению – 3,36 руб/кВтч;
- заработная плата исполнителя приравнена к МРОТ (11280 рублей без районного коэффициента).

Таблица 12 – Смета затрат на проект

№	Затраты по статьям					
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Заработная плата	Прочие затраты	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	118,88	16888,13	122574,4	26453,06	36772,32	202806,79
2	3738,27	16888,13	273857,4	55953,24	82157,21	432594,22

Сформированный бюджет для двух различных условий выполнения одного и того же проекта показывает, что затраты у конкурирующих компаний (2) будут существенно выше (в 2,1 раза).

7.4 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать таблице 13.

Таблица 13 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

В данном случае выбрана иерархическая структура проекта из-за особенностей разработки. Составляющими проекта являются модульные системы, работающие в постоянном взаимодействии с другими модулями. Также основной причиной выбора иерархической структуры является то, что технология проекта является новой, и имеются ограниченные сроки реализации.

7.4.1 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в таблице 14.

Таблица 14 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

7.4.2 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 15.

Таблица 15 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Потеря актуальности		2	5	средний	Модернизация технологии во время разработки	Динамично-развивающийся рынок утилизации отходов и газификации топлив
2	Неточность ПО		4	5	высокий	Модификация математической модели	Сложность прогнозирования процессов газификации из-за кардинальных отличий состава топлив

7.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

7.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- срок окупаемости (D_{pp});
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- индекс доходности (PI).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему либо текущему периоду). Но для практических целей оценку инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

7.5.1.1 Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то NPV определяется по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{on_t}}{(1+i)^t} - I_0, \quad (33)$$

где $ЧДП_{on_t}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше NPV , тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если NPV является положительной.

Таблица 16 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Выручка от реализации, тыс.руб.	0	254,623	254,623	254,623	254,623
2.	Итого приток, тыс.руб.		254,623	254,623	254,623	254,623
3.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-202,807	0	0	0	0
4.	Операционные затраты, тыс. руб. С+Ам+ФОТ	-120,358	-119,358	-119,358	-119,358	-119,358
5.	Налогооблагаемая прибыль	-323,165	135,265	135,265	135,265	135,265
6.	Налоги, тыс. руб Выр-опер=донал.приб*20%	-64,633	27,053	27,053	27,053	27,053
7.	Итого отток, тыс.руб. Опер.затр.+налоги	55,725	146,411	146,411	146,411	146,411
8.	Чистый денежный поток, тыс. руб. ЧДП=Пчист+Ам Пчист=Пдонал.-налог	-258,532	108,212	108,212	108,212	108,212
9.	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i=20\%$)	1	0,833	0,694	0,579	0,482
10.	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб. (с8*с9)	-258,532	90,177	75,147	62,623	52,186
11.	То же нарастающим итогом, тыс.руб. ($NPV=21,6$ тыс.руб.)	-258,532	-168,355	-93,208	-30,585	21,600

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 21,6 тыс. рублей, что позволяет его эффективности.

7.5.1.2 Дисконтированный срок окупаемости

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 17).

Таблица 17 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	-258,532	90,177	75,147	62,623	52,186
2.	То же нарастающим итогом	-258,532	-168,355	-93,208	-30,585	21,600
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 3 + 30.585/52.186 = 3,59$ года				

7.5.1.3 Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость.

Таблица 18 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4
1	Чистые денежные потоки	-258,532	108,212	108,212	108,212	108,212
2	коэффициент дисконтирования					
	i=0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683
	i=0,2	1	0,833	0,694	0,579	0,482
	i=0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350
	i=0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260
	i=0,5	1	0,667	0,444	0,296	0,198
	i=0,6	1	0,625	0,391	0,244	0,153
	i=0,7	1	0,588	0,346	0,204	0,120
	i=0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095
	i=0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077
	i=1	1	0,500	0,250	0,125	0,063
3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб					
	i=0,1	-258,532	98,375	89,431	81,301	73,910
	i=0,2	-258,532	90,177	75,147	62,623	52,186
	i=0,3	-258,532	83,240	64,031	49,254	37,888
	i=0,4	-258,532	77,294	55,210	39,436	28,168
	i=0,5	-258,532	72,141	48,094	32,063	21,375
	i=0,6	-258,532	67,633	42,270	26,419	16,512
	i=0,7	-258,532	63,654	37,444	22,026	12,956
	i=0,8	-258,532	60,118	33,399	18,555	10,308
	i=0,9	-258,532	56,954	29,976	15,777	8,303
	i=1	-258,532	54,106	27,053	13,527	6,763
4	NPV, тыс. руб					
	i=0,1			84,486		
	i=0,2			21,600		
	i=0,3			-24,119		
	i=0,4			-58,423		
	i=0,5			-84,858		
	i=0,6			-105,698		
	i=0,7			-122,452		
	i=0,8			-136,152		
	i=0,9			-147,522		
	i=1			-157,083		

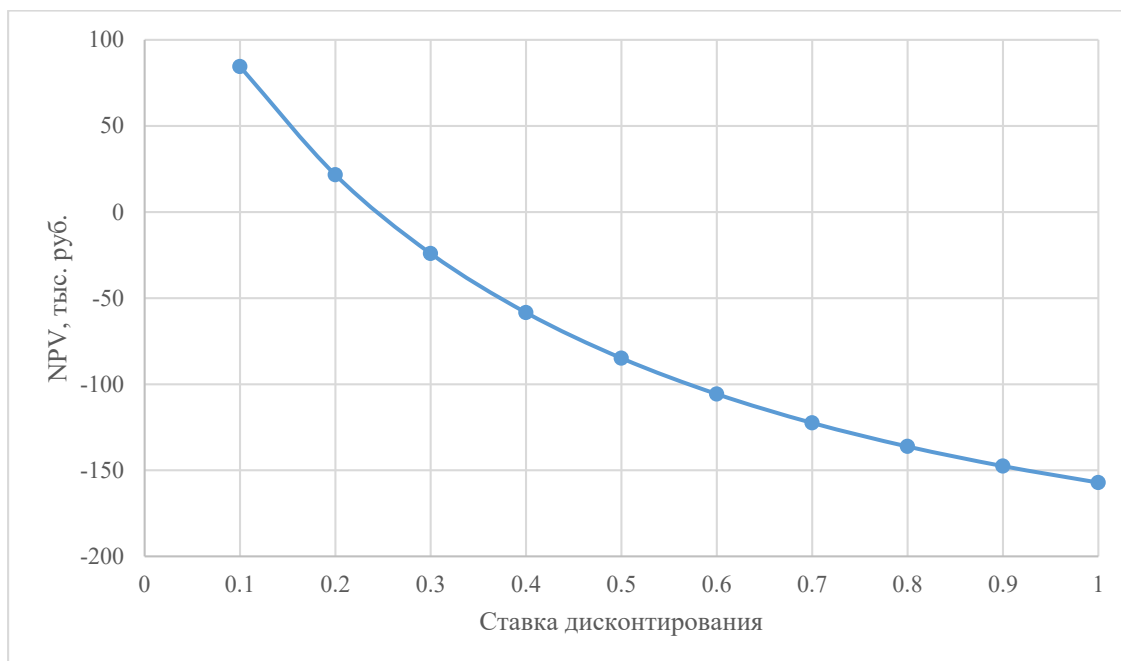


Рисунок 20 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования.

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,25.

7.5.1.4 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (34)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{90,177 + 75,147 + 62,623 + 52,186}{202,807} = 1,38$$

$PI=1,38 > 1$, следовательно, проект эффективен при $i=0,2$;

$NPV=21,6$ тыс. руб.

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в

целом или отдельных категорий населений или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 19 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Складирование отходов углеобогащения на гидроотвалах	Постепенная переработка части отходов в используемое сырье. Увеличение полезной емкости гидроотвалов.
Использование топлива или дополнительной электроэнергии для газификации	В перспективе использование солнечного излучения.
Неиспользуемые ресурсы в виде фильтр-кека	Преобразование фильтр-кека в газ

7.5.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (35)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{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 разах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (36)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 20. За Аналог принято выполнение проекта какой-либо другой организацией только экспериментальным методом без доступа к информационной структуре ТПУ и сотрудником, имеющим минимальный размер заработной платы.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэф. параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	2
3. Помехоустойчивость	0,15	2	3
4. Энергосбережение	0,20	5	2
5. Надежность	0,25	4	4
6. Точность анализа	0,15	4	4
ИТОГО	1	25	17

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i^p}{\Phi_{\max}} = \frac{202,806}{432,594} = 0,47 \quad (37)$$

$$I_{\phi}^a = \frac{\Phi_i^a}{\Phi_{\max}} = \frac{432,594}{432,594} = 1 \quad (38)$$

$$I_T^p = 2,1$$

$$I_{T1}^a = 1,3$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_T^p}{I_{\phi}^p} = \frac{2,1}{0,47} = 4,26 \quad (39)$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_T^a}{I_{\phi}^a} = \frac{1,3}{1} = 1,3 \quad (40)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\phi}^p}{I_{\phi}^a} = \frac{4,26}{1,3} = 3,28 \quad (41)$$

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,47
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	1,3	2,1
3	Интегральный показатель эффективности	1,3	4,26
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	3,28	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе проведения анализа показателей эффективности инвестиций была получена чистая текущая стоимость (NPV) – 21,6 тыс. руб. Таким образом, данный инвестиционный проект можно считать выгодным, NPV является положительной величиной. Дисконтированный срок окупаемости проекта (PP_{дск}) составляет 3,59 года. Внутренняя ставка доходности (IRR) – 0,25, что позволяет признать инвестиционный проект экономически оправданным, так как выполняется условие неравенства $IRR > i$. Индекс доходности (PI) – 1,38, и, основываясь на том, что данная величина превышает единицу, можно утверждать, что данная инвестиция приемлема.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показало, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является исполнение 1 – математическое моделирование светоиндуцированной газификации на базе ТПУ с привлечением студентов к работе над проектом.

7.6 Заключение разделу

Несмотря на достаточно высокие затраты для реализации данного проекта, создание теоретической базы является целесообразной задачей. Процессы светоиндуцированной газификации водоугольного топлива малоизучены и, следовательно, будут являться довольно востребованными при проектировании новых газификаторов на данном топливе и различных исследованиях в области физики горения. Разработанная математическая модель позволит спрогнозировать выход массы некоторых продуктов газификации (монооксид и оксид углерода), а также оценивать влияние различных внешних параметров (времени, интенсивности и площади нагрева, влажности топлива) на процесс газификации.

В данном разделе был проведен анализ проекта численного моделирования процесса светоиндуцированной газификации водоугольного топлива с точки зрения ресурсной и финансовой эффективности. Были произведены предпроектный анализ, планирование управления научно-техническим проектом и определена ресурсная, финансовая, социально-экономическая эффективность исследования.

Основным преимуществом технологии светоиндуцированной газификации согласно предпроектному анализу конкурентов является использование солнечного излучения в качестве источника энергии, а также отсутствие высоких давлений, что снижает энерго- и материалоемкость установки.

По результатам SWOT анализа основными угрозами можно считать прекращение финансирования проекта до его выхода на рынок и потерю

актуальности, вследствие появления нового более совершенного метода. А основными возможностями – модернизацию технологии и привлечение стороннего финансирования.

Сформулирована цель проекта: создание математической модели, описывающей светоиндуцированную газификацию водоугольного топлива и сопоставить ее с экспериментальными результатами к сроку защиты ВКР.

Принята иерархическая структура проекта, представленная на рисунке 2. Составлен календарный план график проекта, продолжительность проекта составит 237 дней.

Бюджет научно-исследовательского проекта составил 208 тыс. рублей.

По результатам оценки абсолютной эффективности NPV составило 21,6 тыс. рублей. Инвестиции в данный проект принесут 1,38 рубля прибыли на каждый вложенный рубль при ставке дисконтирования 20% ($IRR=0,25$). Срок окупаемости проекта составил 3,59 года.

Результаты сравнения по двум интегральным показателям (финансовый и ресурсоэффективности) показывают, что исполнение проекта в текущем виде наиболее эффективно ($\mathcal{E}_{\text{ср}}=3,3$).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ71	Табурчинову Роману Ильичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Численное моделирование процесса свето-индуцированной газификации водо-угольной суспензии.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Характеристика объекта исследования и области его применения	Численное моделирование процесса светоиндуцированной газификации водоугольного топлива.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности -Специальные правовые нормы трудового законодательства; -Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	- ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. - ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере. - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы (с изменениями на 21 июня 2016 года).
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: 1. Превышение уровня шума 2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 3.Отклонение показателей микроклимата 4.Прямая и отраженная блескость и повышенная пульсация светового потока; 5. Статические физические перегрузки;
3. Экологическая безопасность	- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Куликова Ольга Александровна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ71	Табурчинов Роман Ильич		

8 Социальная ответственность

Социальная ответственность – это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы. Это обязательство выходит за рамки установленного законом обязательства соблюдать законодательство и предполагает, что организации добровольно принимают дополнительные меры для повышения качества жизни работников и их семей, а также местного сообщества и общества в целом. К вопросам социальной ответственности на производстве относятся работы по охране труда, окружающей среды и в чрезвычайных ситуациях. Социальная ответственность подразделяется на индивидуальную и корпоративную. Корпоративная социальная ответственность — это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы, а индивидуальная возлагает на себя ответственность за деяние одного человека.

Охрана труда – это система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия (ч. 1 ст. 209 ТК).

В данной работе было проведено численное моделирование процесса свето-индуцированной газификации водо-угольного топлива. Данную модель планируется использовать при прогнозировании выхода газа при процессе газификации водо-угольного топлива. Такая работа проводилась с использованием персонального компьютера одним оператором. При выполнении этих работ на оператора могут воздействовать следующие вредные и опасные факторы:

- статические физические перегрузки;

- перенапряжение зрительных анализаторов;
- повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- поражение электрическим током.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

8.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Операторы персонального компьютера обязаны периодически проходить медицинское освидетельствование в порядке и сроки, установленные Минздравом РФ.

К работе на персональном компьютере допускаются лица, прошедшие обучение безопасным методам труда, вводный инструктаж, первичный инструктаж на рабочем месте.

Работник обязан выполнять только ту работу, которая определена его должностной инструкцией; содержать в чистоте рабочее место; соблюдать режим труда и отдыха в зависимости от продолжительности, вида и категории трудовой деятельности (приложение N1 [79]).

Оператор персонального компьютера осуществляет свою рабочую деятельность в положении сидя, поэтому рабочее место должно быть эргономично и учитывать особенности такого выполнения работ [80].

Все оборудование, которым оснащается рабочее место оператора должно соответствовать [76].

8.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

– Рабочие места с компьютерами должны размещаться таким образом, чтобы расстояние от экрана одного видеомонитора до тыла другого было не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

- Рабочие места с персональными компьютерами по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева.
- Оконные проемы в помещениях, где используются персональные компьютеры, должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.
- Рабочая мебель для пользователей компьютерной техникой должна отвечать следующим требованиям:
 - Высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 680 - 800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм;
 - Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм;
 - Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно - поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также - расстоянию спинки от переднего края сиденья;
 - Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов; поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм;
 - Рабочее место с персональным компьютером должно быть оснащено легко перемещаемым пюпитром для документов.

8.2 Производственная безопасность.

8.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

В таблице 22 приведены возможные вредные и опасные факторы, которые может создавать объект исследования и которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 [2])	Этапы работ		Нормативные документы
	Разрабо тка	Эксплуа тация	
1. Превышение уровня шума		+	1. ГОСТ 12.1.003.2014 – Система стандартов безопасности труда. Шум [3].
2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	2.ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [4]. 3.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [6].
3.Отклонение показателей микроклимата	+	+	4. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [7].
4.Прямая и отраженная блескость и повышенная пульсация светового потока;.	+	+	5. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы[5]
5. Статические физические перегрузки;	+	-	

8.2.1.1 Превышение уровня шума

Источником повышенного уровня шума при проведении работ может выступать система охлаждения системного блока персонального компьютера.

Вопрос уровня шума на рабочих местах на самом деле очень важен. Повышенный шум является причиной ухудшения слышимости, преждевременной утомляемости человека, исследования доказывают, что под влиянием шума производительность труда снижается на 10%, шум уменьшает

зрительную реакцию, что вместе с утомляемостью резко увеличивает вероятность ошибок при работе.

Исходя из этих данных, установлены санитарные нормы допустимого уровня шума на рабочих местах. Научная деятельность попадет под категорию 1 вида трудовой деятельности и согласно [81] составляет 50 ДБА. Уровень шума у современных компьютерных системных блоков составляет 30-50 ДБА, что не превышает установленную норму.

При превышении установленной нормы в 50 ДБА следует провести мероприятия по снижению уровня шума.

Снизить уровень шума в помещениях можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63-8000 Гц для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создают однотонные занавески из плотной ткани, повешенные в складку на расстоянии 15-20 см от ограждения. Ширина занавески должна быть в 2 раза больше ширины окна.

8.2.1.2 Электробезопасность

Источником поражения электрическим током является весь персональный компьютер, так как большинство его составляющих находятся под напряжением. Причиной поражения током чаще всего является прикосновение к токопроводящим (металлическим) деталям оборудования, которые находятся под напряжением, либо по какой-либо причине лишились изоляции. Поэтому главным правилом безопасности является применение при работе с такими поверхностями специальных изолирующих средств (таких как резиновые перчатки или галоши), заземление (зануление) оборудования, либо предварительное его отключение [75].

Для предотвращения поражения электрическим током работнику при работе на ПК запрещается:

- прикасаться к задней панели системного блока (процессора) при включенном питании;

- переключать разъемы интерфейсных кабелей периферийных устройств при включенном питании;
- допускать попадание влаги на поверхность системного блока (процессора), монитора, рабочую поверхность клавиатуры, дисководов, принтеров и других устройств;
- производить самостоятельное вскрытие и ремонт оборудования;
- работать на компьютере при снятых кожных перчатках;
- отключать оборудование от электросети и выдергивать электровилку, держа за шнур [73].

8.2.1.3 Отклонение показателей микроклимата

Под состоянием воздушной среды понимаются метеорологические условия в рабочем помещении. Метеорологические условия определяются следующими параметрами:

1. температура воздуха;
2. скорость движения воздуха на рабочем месте;
3. относительная влажность.

Данные показатели должны обеспечивать оптимальные и комфортные условия для человека в помещении на протяжении его рабочей смены. Нормативами приводятся оптимальные допустимые значения параметров микроклимата СанПиН 2.2.4.548–96 [77]. Научная работа за компьютером относится к категории Ia по энергозатратам согласно [77].

Для уменьшения влажности, а также поддержания комфортной температуры в помещении устанавливаются системы отопления, вентиляции и кондиционирования.

8.2.1.4 Прямая и отраженная блескость и повышенная пульсация светового потока.

Работа на ПК сопровождается постоянным и значительным напряжением функций зрительного анализатора. Одной из основных особенностей является иной принцип чтения информации, чем при обычном

чтении. При обычном чтении текст на бумаге, расположенный горизонтально на столе, считывается работником с наклоненной головой при падении светового потока на текст. При работе на ПК оператор считывает текст, почти не наклоняя голову, глаза смотрят прямо или почти прямо вперед, текст (источник — люминесцирующее вещество экрана) формируется по другую сторону экрана, поэтому пользователь не считывает отраженный текст, а смотрит непосредственно на источник света, что вынуждает глаза и орган зрения в целом работать в несвойственном ему стрессовом режиме длительное время.

Расстройство органов зрения резко увеличивается при работе более четырех часов в день. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) ввела понятие “компьютерный зрительный синдром” (КЗС), типовыми симптомами которого являются жжение в глазах, покраснение век и конъюнктивы, чувство инородного тела или песка под веками, боли в области глазниц и лба, затуманивание зрения, замедленная перефокусировка с ближних объектов на дальние.

Для профилактики расстройств органов зрения необходимо соблюдать график работы согласно Приложению 1 ТООИ Р-45-084-01 [79]: продолжительность непрерывной работы с компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать 2-х часов; а также во время регламентированных перерывов с целью снижения нервно - эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития познотонического утомления выполнять комплексы упражнений[73].

8.2.1.5 Статические физические перегрузки

Повышенные статические и динамические нагрузки у пользователей ПК приводят к жалобам на боли в спине, шейном отделе позвоночника и руках. Из всех недомоганий, обусловленных работой на компьютерах, чаще встречаются те, которые связаны с использованием клавиатуры. В период выполнения операций ввода данных количество мелких стереотипных движений кистей и

пальцев рук за смену может превысить 60 тысяч [82], что в соответствии с гигиенической классификацией труда относится к категории вредных и опасных. Поскольку каждое нажатие на клавишу сопряжено с сокращением мышц, сухожилия непрерывно скользят вдоль костей и соприкасаются с тканями, вследствие чего могут развиваться болезненные воспалительные процессы. Воспалительные процессы тканей сухожилий (тендениты) получили общее название “травма повторяющихся нагрузок”.

Большинство работающих рано или поздно начинают предъявлять жалобы на боли в шее и спине. Эти недомогания накапливаются постепенно и получили название “синдром длительных статических нагрузок” (СДСН).

Другой причиной возникновения СДСН может быть длительное пребывание в положении “сидя”, которое приводит к сильному перенапряжению мышц спины и ног, в результате чего возникают боли и неприятные ощущения в нижней части спины. Основной причиной перенапряжения мышц спины и ног являются нерациональная высота рабочей поверхности стола и сидения, отсутствие опорной спинки и подлокотников, неудобное размещение монитора, клавиатуры и документов, отсутствие подставки для ног.

Для существенного уменьшения боли и неприятных ощущений, возникающих у пользователей ПК, необходимы частые перерывы в работе и эргономические усовершенствования, в том числе оборудование рабочего места так, чтобы исключать неудобные позы и длительные напряжения [72].

8.3 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды – изменение естественного состава элементов окружающей среды (воздуха, воды, земель и лесов) в результате деятельности человека. Оно приводит к ухудшению условий жизни населения, существования животного и растительного мира.

8.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду

Выбросы загрязняющих веществ предприятий теплоэнергетики, обусловленные процессами сгорания топлива, является одним из основных источников загрязнения атмосферы. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также эффективностью в целом работы устройства, использующего теплоту сгорания топлива.

8.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Основным вредным фактором водоугольного топлива на окружающую среду является ее загрязнение золой, оксидами азота и серы при сжигании данного топлива. Однако данное исследование не оказывает никакого существенного вредного влияния на окружающую среду, так как используется моделирование процессов на персональном компьютере.

Однако при газификации топлива в промышленном масштабе среди большого числа загрязнителей воздуха (опасных выбросов) принято выделять пять основных, на долю которых приходится 90–95 % валового выброса антропогенных веществ в различных регионах мира: частицы золы, оксиды серы (SO_x), азота (NO_x) и углерода (CO_x), а также пары воды (H_2O). Каждый из перечисленных элементов оказывает негативное воздействие на экологию. Особенно следует подчеркнуть, что газы CO_2 и H_2O являются парниковыми и существенно влияют на климатические изменения.

Оксиды серы и азота, соединяясь с атмосферной влагой, окисляются, образуя слабые растворы серной и азотистой кислот, которые являются причиной выпадения кислотных дождей. Также повышение концентрации оксидов азота способствует разрушению озонового слоя атмосферы, который защищает землю от ультрафиолетового космического излучения.

При складировании золошлаковых отходов, которые образуются при газификации, необходимо выбрать правильно золоотвал. Ведь зола, помимо того, что просто может улетучиваться со временем, также может проникать в почву вместе с металлами и другими вредными компонентами, которые содержатся в составе исходных компонентов водоугольных суспензий.

Цель газификации водоугольного топлива является получение продукта (сингаза, генераторного газа и др.), поэтому правильно построенный процесс газификации позволит избежать появления большинства выбросов, так как необходимо получить как можно больше горючих веществ и меньше выбросов. Например, реакция образования оксида азота в основном протекает при очень высоких температурах (больше 1100 К), доля топливных оксидов азота невелика по сравнению с оксидами азота, образующимися из воздуха. Светоиндуцированная газификация практически исключает нагрев воздуха, что существенно снизит выбросы азота в атмосферу.

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на объекте, либо на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного бедствия, диверсий, эпидемий, эпизоотий, эпифитотий или других событий, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

В настоящее время основными способами защиты населения, в том числе и производственного персонала, являются:

- укрытия в защитных сооружениях, в простейших укрытиях на местности;
- рассредоточение и эвакуация населения из крупных городов в загородную зону;
- своевременное и умелое применение средств индивидуальной защиты.

8.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Так как топливо необходимо складировать для обеспечения необходимого запаса, то существует вероятность его возгорания от каких-либо внешних воздействий, несмотря на то, что водоугольное топливо является взрывобезопасным, оно может содержать в себе легко воспламеняющиеся нефтепродукты.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние складов готового топлива, на наличие протечек и повреждений, путем осмотра их персоналом. А также, во избежание нарушений противопожарных правил, на производстве необходимо проводить инструктаж и воспитательные работы с персоналом, вводить систему наказаний и штрафов за подобного рода нарушения.

Для проведения противопожарных мероприятий необходимо:

- обеспечить безопасность людей и разработать инструкцию по безопасности для каждого отдельного рабочего помещения;
- допускать персонал к работе только после инструктажа, при изменении специфики работы вносить изменения в инструктаж;
- при желании и необходимости создавать пожарно-технические комиссии или добровольные пожарные дружины;
- в каждом рабочем помещении на видном месте размещать таблички с номером вызова пожарной охраны;
- установить инструкцией места для курения, хранения сырья, полуфабрикатов или готовой продукции и их предельно допустимое количество, порядок уборки горючих отходов и пыли, обесточивания электрооборудования, хранения промасленной спецодежды;
- регламентировать порядок проведения пожароопасных работ, осмотра и закрытия помещений, действий коллектива при возникновении пожара.

Назначить ответственного за инструктирование и проведение занятий по противопожарной безопасности, определить время проведения занятий;

– при нахождении более чем 10 человек на этаже утвердить и повесить на видном месте план/схему эвакуации, установить систему оповещения.

8.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

В заключение хочется отметить важность основной задачи, поставленной данным разделом, – формирование у исследователя социальной ответственности перед другими людьми и окружающей средой обитания. Важно, чтобы исследователь понимал необходимость выполнения всех возможных мероприятий, ведущих к улучшению условий окружающего мира.

Исследования в области светоиндуцированной газификации водоугольного топлива помогут при разработке и проектировании новых экологоэффективных агрегатов, а также минимизировать риск аварий на таких агрегатах, вследствие достаточной проработанности процессов газификации водоугольных топлив.

Социальная роль численного моделирования процесса светоиндуцированной газификации водоугольного топлива – снижение пагубных факторов на окружающую среду из-за хранения отходов углеобогащения, а также снижение выбросов в атмосферу, таких как NO_x и SO_x , при сжигании угля.

Как итог проделанной работы по разделу «Социальная ответственность» следует отметить следующее:

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;
- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие в лаборатории при проведении исследования, а также при применении данного вида топлива;
- указаны методики и средства борьбы с этими факторами;

- описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС.

Закключение

В рамках данного дипломного проекта были проведены теоретическое и экспериментальное исследования светоиндуцированной газификации водоугольной суспензии.

Разработана численная модель, позволяющая спрогнозировать выход монооксида углерода при светоиндуцированной газификации топливной смеси на основе фильтр-кека Г. Результаты математического моделирования были сопоставлены с экспериментальными данными. Выяснено, что процесс светоиндуцированной газификации можно охарактеризовать как приповерхностный, и продемонстрировано девятикратное превышение радиуса области выгорания углерода по сравнению с размером освещенной области. Определены аррениусовские параметры реакции неполного окисления углерода ($E_a=100$ кДж/моль и $K=5175$ кг/с), позволяющие наиболее точно смоделировать проведенный эксперимент.

Пояснительная записка к проекту содержит подробное описание методики эксперимента, а также физической и математической постановки математической модели.

Так же выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнена оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения данного научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, определены возможные альтернативы его проведения, проведено планирование процесса научного исследования и разработан план календарный план график, оценены интегральные показатели эффективности. В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены основные опасные и вредные факторы при выполнении данной работы и способы снижения их воздействия на человека, указаны пагубные воздействия на окружающую среду.

Список литературы

1. Smil V. World history and energy //Encyclopedia of energy. – 2004. – Т. 6. – С. 549-561.
2. Bithas K., Kalimeris P. Revisiting the Energy-development Link: Evidence from the 20th Century for Knowledge-based and Developing Economies. – Springer, 2015.
3. Agnoletti M., The Basic Environmental History // Springer, Cham, 2014. – V. 4. – 268 p.
4. Smil V. Energy transitions: history, requirements, prospects. – ABC-CLIO, 2010.
5. Коржубаев А. Г. Мировая энергетика и нефтегазовый комплекс России //Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2006. – Т. 5.
6. Сливко В. М. Энергетические аспекты развития древних цивилизаций //М.: Газойл пресс. – 1999.
7. Костюк В. В., Макаров А. А., Митрова Т. А. Энергетика и геополитика //Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. – 2012. – №. 4. – С. 30-42.
8. Malanima P. Energy in history //The Basic Environmental History. – Springer, Cham, 2014. – С. 1-29.
9. Стадников Г. Л. Происхождение углей и нефти //Изд-во АН СССР. – 1937.
10. Тихомиров В. В. Из истории взглядов на происхождение горючих ископаемых //Тр. Института истории естествознания АН СССР. – 1954. – Т. 4. – С. 394-407.
11. Petroleum B. BP Statistical Review of world energy 2018 //Statistical review of world energy. – 2018. – Т. 2019. – С. 65.
12. Макаров А. А., Григорьев Л. М., Митрова Т. А. Прогноз развития энергетики мира и России 2016 //М.: ИНЭИ РАН. – 2016.

- 13.Макаров А. А., Григорьев Л. М., Митрова Т. А. Эволюция мировых энергетических рынков и ее последствия для России //М.: ИНЭИ РАНАЦ при Правительстве РФ. – 2015.
- 14.Global Energy Statistical Yearbook 2018. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.net/>, свободный. – Загл. с экрана.
- 15.Сажин В. Б. и др. Состояние и перспективы развития ядерной энергетики //Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – Т. 21. – №. 8 (76).
- 16.Кархов А. Н. Перспективы развития атомной энергетики в условиях рынка //Проблемы прогнозирования. – 2014. – №. 4 (145).
- 17.Суходолов А. П. Мировые запасы урана: перспективы сырьевого обеспечения атомной энергетики //Известия Байкальского государственного университета. – 2010. – №. 4.
- 18.Осецкая М. М., Украинцев В. Ф. ТЕКУЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ НА МИРОВОМ РЫНКЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ //Пространственная экономика. – 2018. – №. 1.
- 19.McLaughlin T. P. et al. A review of criticality accidents 2000 revision. – Los Alamos National Lab., NM (US), 2000. – №. LA-13638.
- 20.Soni A. Out of sight, out of mind? Investigating the longitudinal impact of the Fukushima nuclear accident on public opinion in the United States //Energy policy. – 2018. – Т. 122. – С. 169-175.
- 21.United Nations. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: sources. – United Nations Publications, 2000. – Т. 1.
- 22.Форум Ч. Наследие Чернобыля: Медицинские, экологические и социально-экономические последствия и рекомендации правительствам Беларуси, Российской Федерации и Украины. 2-е, исправленное издание //Вена: МАГАТЭ. – 2006.
- 23.Schmalensee R. Evaluating policies to increase electricity generation from renewable energy //Review of Environmental Economics and Policy. – 2011. – Т. 6. – №. 1. – С. 45-64.

- 24.Баринаова В. А., Ланьшина Т. А. Особенности развития возобновляемых источников энергии в России и в мире //Российское предпринимательство. – 2016. – Т. 17. – №. 2.
- 25.Кучеров В. Г. и др. Природный газ-главный источник энергии в XXI в //Газовая промышленность. – 2014. – №. S716. – С. 8-12.
- 26.Breeze P. Power generation technologies. – Newnes, 2019.
- 27.Официальный сайт компании Mitsubishi Heavy Industries. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mhps.com>, свободный. – Загл. с экрана.
- 28.Ehrlich P. R., Holdren J. P. Impact of population growth //Science. – 1971. – Т. 171. – №. 3977. – С. 1212-1217.
- 29.DESA U. N. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2015 revision, key findings and advance tables //Technical Report. – Working Paper No. ESA/P/WP. 241, 2015.
- 30.Haub C., Kent M. M. World population data sheet of the Population Reference Bureau Inc. Demographic data and estimates for the countries and regions of the world. – 1988.
- 31.Joshi M. M., Lee S. Integrated gasification combined cycle—a review of IGCC technology //Energy Sources. – 1996. – Т. 18. – №. 5. – С. 537-568.
- 32.Nagasaki, Kameyama Latest Technologies for Coal-Fired Thermal Power Generation: Integrated Coal Gasification Combined Cycle (Oxygen-Blown Technology) //The Thermal and Nuclear Power. – 2014. – Т. 65. – №. 10. – С. 69-73.
- 33.Berkowitz N. An introduction to coal technology. – Elsevier, 2012. – 337 p.
- 34.Гинзбург Д. М. Газификация топлива и генераторные установки. – 1983.
- 35.Канторович Б. В. Введение в теорию горения и газификации твердого топлива. – Металлургиздат, 1960. – 355 с.
- 36.Алешина А. С., Сергеев В. В. Газификация твердого топлива. – 2010. – 386 с.

37. Гарифзянова Г. Г. Производство синтез-газа и продуктов на его основе. – КГТУ, 2007.
38. Афанасьев В. В., Ковалев В. Г., Тарасов В. А. Анализ технологий газификации твердого топлива // Вестник Чувашского университета. – 2010. – №. 3.
39. Матковский П. Е. и др. Технологии получения и переработки синтез-газа // Газохимия. – 2011. – №. 3-4 (19-20).
40. Minchener A. J. Coal gasification for advanced power generation // Fuel. – 2005. – Т. 84. – №. 17. – С. 2222-2235.
41. Александров Н. Е. и др. Основы теории тепловых процессов и машин. Часть 2/Под ред. НИ Прокопенко // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2006. – Т. 571. – С. 44.03.
42. Molina A., Mondragon F. Reactivity of coal gasification with steam and CO₂ // Fuel. – 1998. – Т. 77. – №. 15. – С. 1831-1839.
43. Рыжков А. Ф. и др. Эффективность современных способов конверсии низкосортных топлив в электроэнергетике // Омский научный вестник. – 2010. – №. 3 (93).
44. Троицкий В. Н. Плазмохимическая переработка угля. – Наука, 1990.
45. Shin D. H. et al. A pure steam microwave plasma torch: gasification of powdered coal in the plasma // Surface and Coatings Technology. – 2013. – Т. 228. – С. S520-S523.
46. Reddy B. R. et al. Microwave-Assisted and Analytical Pyrolysis of Coking and Non-coking Coals: Comparison of Tar and Char Compositions // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2019.
47. Volceanov A. et al. A review of catalysts used in microwave assisted pyrolysis and gasification // Bioresource technology. – 2019.
48. Ustimenko A. B., Messerle V. E. 4.26 Plasma Gasification Energy Conversion Systems. – 2018.

49. Энхжаргал Х. Математическое моделирование термopодготовки и горения угольной частицы. I. Стадия прогрева / Х. Энхжаргал, В.В. Саломатов // Инженерно-физический журнал. – 2010. – №5. – С. 837-846.
50. Энхжаргал Х. Математическое моделирование термopодготовки и горения угольной частицы. II. Стадия сушки / Х. Энхжаргал, В.В. Саломатов // Инженерно-физический журнал. – 2011. – №2. – С. 239-247.
51. Странский И.Н. Механизм испарения / И. Н. Странский, О. Кнаке // Успехи физических наук. – 1959.. – Т68. – вып.2.
52. Veca E. Isothermal kinetics of char-coal gasification with pure CO₂ / Elisabetta Veca, Alessandra Adrover // Fuel. – 2014. V. 123. С. 151–157.
53. Ra H.W. Devolatilization characteristics of high volatile coal in a wire mesh reactor / Ho Won Ra, Myung Won Seo, Sang Jun Yoon, Sung Min Yoon, Jae Kwon Kim, Jae Goo Lee, Seung Bin Park // Korean Journal of Chemical Engineering. – 2014. V. – 31. – С. 1570-1576.
54. Huo W. Mechanism analysis and experimental verification of pore diffusion on coke and coal char gasification with CO₂ / Wei Huo, Zhijie Zhou, Fuchen Wang, Guangsuo Yu // Chemical Engineering Journal. – V.244. – 2014. С. 227–233.
55. Hashimoto N. Numerical simulation of sub-bituminous coal and bituminous coal mixed combustion employing tabulated-devolatilization-process model / Nozomu Hashimoto, Hiromi Shirai // Energy. – V. 71. – 2014. – С. 399–413.
56. Vascellari M. Simulation of entrained flow gasification with advanced coal conversion submodels. Part 1: Pyrolysis / M. Vascellari, R. Arora, M. Pollack, C. Hasse // Fuel. – 2013.
57. Kumar M. Multiphysics simulations of entrained flow gasification. Part II: Constructing and validating the overall model / M. Kumar // Energy & Fuels. – 2012. – С. 464-479.
58. Горная энциклопедия. Пиролиз. [Электронный ресурс]. <http://www.mining-enc.ru/p/piroliz/> (дата обращения: 12.11.2014)

59. Perkins G. A. Mathematical Model for the Chemical Reaction of a Semi-infinite Block of Coal in Underground Coal Gasification / Greg Perkins and Veena Sahajwalla // *Energy & Fuels*. – 2005. – V. – 19. C – 1679-1692.
60. Anthony D.B. Coal Devolatilization and Hydrogasification / D.B. Anthony, J.B. Howard// *AIChE J.* – 1976. – 22. – C. 625-656.
61. Tsang T.H.T. Modeling of Heat and Mass Transfer During Coal Block Gasification / T.H.T. Tsang. Austin. – The University of Texas at Austin. – 1980.
62. Du Z. et al. Kinetic measurement and modeling of carbon oxidation // *Energy & Fuels*. – 1991. – T. 5. – №. 1. – C. 214-221.
63. Ong Jr J. N. On the kinetics of oxidation of graphite // *Carbon*. – 1964. – T. 2. – №. 3. – C. 281-297.
64. Stanmore B. R., Brilhac J. F., Gilot P. The oxidation of soot: a review of experiments, mechanisms and models // *carbon*. – 2001. – T. 39. – №. 15. – C. 2247-2268.
65. Glushkov D. O. et al. Ignition of promising coal-water slurry containing petrochemicals: Analysis of key aspects // *Fuel Processing Technology*. – 2016. – T. 148. – C. 224-235.
66. Syrodoy S. V. et al. The Conditions and Characteristics of Wood Particles Ignition in the Stream of the High Temperature Gases // *Combustion Science and Technology*. – 2018. – T. 190. – №. 4. – C. 663-686.
67. Syrodoy S., Taburchinov R., Mikhaylova I. Influence of the near-surface water film thickness on the characteristics and conditions of water-coal fuel particles inflammation // *MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2017. – T. 110. – C. 01078.
68. Syrodoy S. V., Gutareva N. Y., Taburchinov R. Influence of Absorption of Thermal Radiation in the Surface Water Film on the Characteristics and Ignition Conditions // *MATEC Web of Conferences*. Vol. 72: Heat and Mass Transfer in the System of Thermal Modes of Energy–Technical and Technological Equipment (HMTTSC-2016).—Les Ulis, 2016. – [sn], 2016. – T. 722016. – C. 1109.

- 69.Никольский Б. П. Справочник химика. – Рипол Классик, 2014.
- 70.Vagraftik N. B. The Handbook of Thermodynamic Properties of Gases and Liquids. – 1963.
- 71.Glushkov D. O. et al. Influence of organic coal-water fuel composition on the characteristics of sustainable droplet ignition //Fuel Processing Technology. – 2016. – Т. 143. – С. 60-68.
- 72.Шумилин В. К., Осипов В. И. Типовая инструкция по охране труда для пользователей ПЭВМ в электроэнергетике. РД 153-34.0. 03.2. 98-2001. – 2000.
- 73.ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 74.ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
- 75.ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 76.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы (с изменениями на 21 июня 2016 года)
- 77.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 78.СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
- 79.ТОИ Р–45-084-01 «Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере» //М.: Изд-во НЦ ЭНАС. – 2002.
- 80.ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования
- 81.СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы
- 82.Евсюков К. Н., Колин К. К. Основы проектирования информационно-вычислительных систем. – Статистика, 1977.

Приложение А

(справочное)

Chapter 1 Coal Gasification

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ71	Табурчинов Роман Ильич		

Консультант ИШЭ НОЦ И.Н. Бутакова:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Егоров Роман Игоревич	к.ф.м.н		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Соколова Эльвира Яковлевна			

Energy and its use have accompanied mankind almost since its creation. The use of fire was the first and the one of the fundamental factors that stimulated the further development humanity. People used the energy of burned wood fuel or biomass to heat their homes and prepare food. Next was the use of wind energy with the help of sails and windmills. Water mills apply the same physical principle as windmills that were the following devices used for hydropower generating. Metal usage and the emergence of primitive metalworking methods that require significant amounts of thermal energy have led to the fact that the possibilities of wood fuel turned out to be lower than necessary. People needed more high-calorie type of fuel, which was exactly coal. This is the time when active coal mining and use in industry began which can be viewed as the era of fossil fuels.

The era of liquid fuels (oil and petroleum products) begins with the understanding of the industrial potential of using petroleum products and, accordingly, the development of their extraction and transforming processes. The age of labor mechanization led to significant changes in the dynamics of industrial volumes of energy consumption.

Over the past half century, a number of industrial and economic crises accompanied by global energy fluctuations can be clearly traced. Despite this fact, the long-term trend indicates a steady increase in global energy consumption. This contributes to the further development of the deposits.

The era of peaceful atom began when the first nuclear power plant for electricity generation for a power grid was built in Obninsk by Soviet Union. But it didn't lead to cardinal changes in the world power industry. The reason for this was a small share of nuclear power in the structure of the global energy balance (17%). Although in some countries this share reached 72%. Several main factors constrain nuclear power engineering, such as a high level of capital investment for the construction of a nuclear power plant, the small dynamism of power units, and the problems of nuclear waste disposal. Also, a number of major accidents and disasters reduced the attractiveness of this type of energy production.

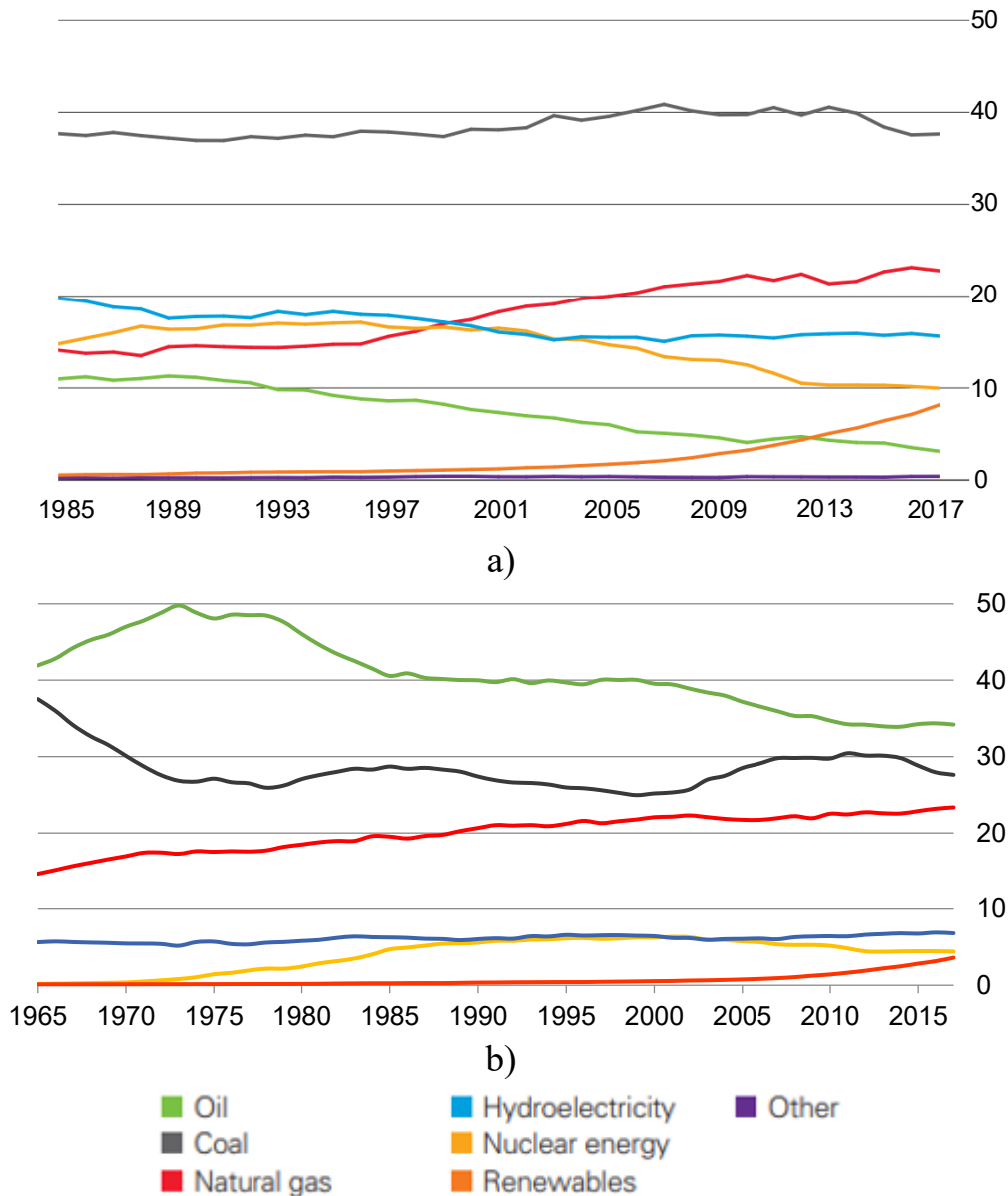


Figure A.1 – Dynamics of usage (%) of different energy sources in a) electricity generation b) world industry

Current plants, which are using renewable energy sources (wind or sun), are unable to produce the required demands of electricity. Although their share in the global energy balance has increased significantly over the past 12 years (from 2.3% to 8.4%).

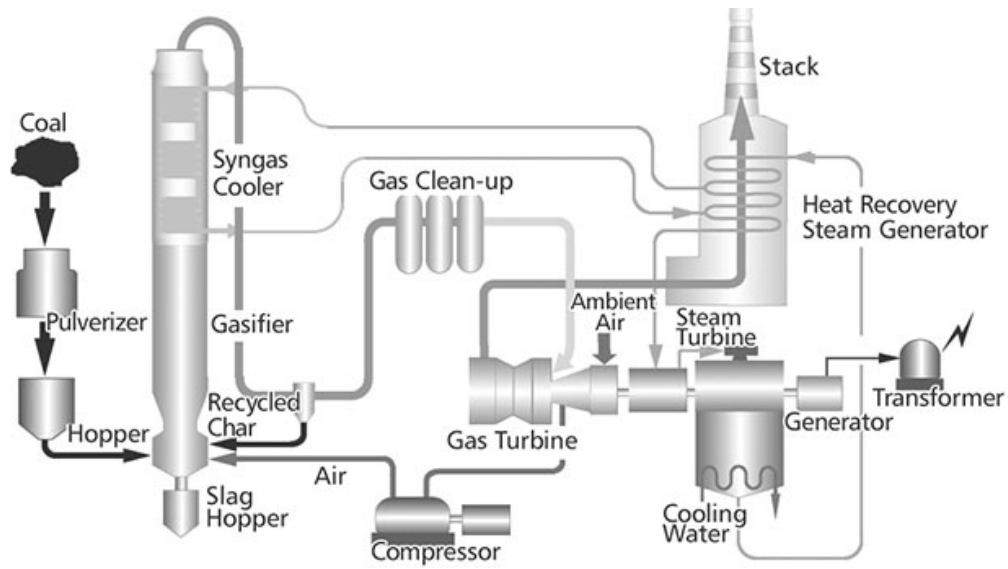
The share of natural gas is rapidly increasing in global energy consumption, triggered by the energy crisis in 1973 after artificial raise in prices for crude oil. At present gas is very attractive in terms of consuming, it is also convenient for transporting and storing. If we compare its combustion with oil and coal, then is almost harmless, except for emitting CO₂ and NO_x. In addition, the development and

implementation of combined-cycle plants make possible to achieve one of the highest efficiencies (up to 61%) in the power industry.

There are several scenarios for the development of world energy consumption and energy production. However, all of them imply the fact that the world economy continues to grow, thanks to increase in wealth in developing countries. The main part of this development is due the increase in labor productivity (Gross Domestic Product per capita), which accounts for almost 80% of the global increase in energy consumption. The emergence of a large and growth of the middle class in the developing countries is becoming an important factor for shaping global economic and energy trends. Developing countries account for more than 80% of the growth in world production, while China and India account for about half of this growth.

Coal takes one of the leading positions in the global energy balance over the course of a century. Coal still ranks first in energy production, which makes up 38.1% of the electricity produced in 2017 (Figure A.1) and, according to experts, no radical reduction in the share of coal is expected. However, the main problems such as convenient transportation or its environmentally friendly combustion have not been solved yet. One of the solutions is coal gasification, which allows using modern steam-gas cycles and leads to the reduction of nitric and carbon oxides.

At present, several modern projects concerning thermal power plants have been implemented. These plants work on the principle of coal gasification, and show almost 50% efficiency. The Japanese company Mitsubishi-Hitachi that uses the cycle of integrated coal gasification coal announces this level of efficiency. This power plant has operated since 2013 in Japan and the leading company whose overall efficiency is 48%. In order to overcome 50% efficiency threshold, it is planned to implement a number of solutions based on pure oxygen blow technology - IGCC. The scheme of this complex is shown in Figure A.2.



a)



b)

Figure A.21 – Scheme of industrial plant Mitsubishi-Hitachi for producing electricity based on technology of coal gasification (a) and its outlook (b).

1 – Stack; 2 – Gasifier; 3 – Air separation unit; 4 – Sulfur recovery unit; 5 – CO₂ capture unit (chemical absorption); 6 – CO₂ capture unit (sweet shift); 7 – Control room; 8 – Gas clean-up unit; 9 – Gas turbines.

In addition to the production of electricity due to the heat of combustion of syngas obtained from coal, this technology involves usage and utilization of associated products (resins, sulfur, metal oxides, ash, etc.).

The main and key element of the coal gasification system is the reactor-gasifier (pos. 2 Figure A.2), where the thermal decomposition of hydrocarbons and the partial oxidation of the carbon residue occur. At present, the gasifier is designed for coal with a high degree of metamorphism (anthracite, bituminous and sub-bituminous).

The principle of the gas generator has long been known, but the realization of specific gasifiers differs by several factors, such as temperature distribution in the reactor column, type of fuel mixture, combustion mode, gasification agent type, heat transfer mode, operating pressures and temperatures, method of fuel supply.

There are various types of coal gasification: dense layer, fluidized bed, stream mixture of coal dust and air and molten bath using air, oxygen, steam blow, or their combination. A classic typical gasifier consists of a vertical column filled with a batch/ charge material (a mixture of coal, non-combustible filler and various sorbents). Non-combustible filler provides better permeability of the coal layer for gases filtered through the layer to the top of column. Sorbents are used for partial absorption of harmful gasification products. Depending on the chosen gasification process, the working pressure inside the gasifier can vary in a wide range from 0.1 MPa to 25-30 MPa. According to the operating temperature in the reactor, gasification is divided into three types: low-temperature ($T < 1100$ K), medium-temperature (1000 K $< T < 1600$ K) and high-temperature ($T > 1600$ K).

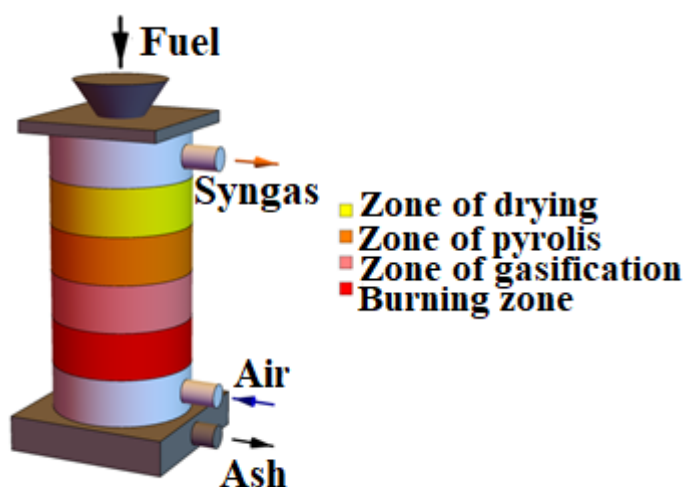


Figure A.3 – Scheme of gas generator column in dense layer

Gasification in a fixed bed provides for heating the batch material (coarse coal 5-50 mm) in the column due to the supply of "hot" oxidant to the lower part of the reactor and combustion (burning zone, see Figure A.3). "Hot" gasifying agent (usually an oxidizer + water vapor) and combustion products pass through the charge layer up the column, heating all subsequent zones and catalyzing the chemical processes of thermal coal decomposition.

The fuel moves from the top to the bottom under gravity as the ash from the bottom of the gas generator is removed using special devices. The maximum temperature is maintained in the combustion zone due to the oxidation of the char of the fuel. In the gasification zone thermal decomposition of hydrocarbons remaining after pyrolysis occurs. Almost the entire volume of the oxidizer is bound in the combustion and gasification zones, while in the pyrolysis zone oxygen-free decomposition of hydrocarbons occurs (pyrolysis itself), volatile segregates from coal, decomposition into simplest hydrocarbons, CO, CO₂, H₂, which form the generating gas. Next, the generator gas (syngas, synthesis gas) passes through the fuel drying zone, is cooled to the temperature less than 1000 K due to the heat transfer to fresh fuel. After this, the syngas flows to the systems for drying, cooling and cleaning from sulfur, tar and mechanical impurities. The treated gas is sent, as a rule, to the combustion in the boiler furnace.

This type of gasifier is quite simple and is used both in industry and in research projects. However, increasing the productivity of such a gas generator (Figure A.3) is a complex and often hard to complete operation.

Fluid bed gasification requires much greater grinding of the charge (fraction 0.5–5 mm), but the process is similar to that described above. Pseudo-liquefaction occurs when the fuel is supplied with the oxidizer by an upward flow of the vapor-gas mixture. A higher "gasification rate" (conversion of solid fuels to gas) is explained by a larger response area due to the c fraction of the fuel.

Gasification in the dust flow is used in the IGCC cycle to generate electricity. Coal dust or coal-water slurry together with oxygen is blown into the reactor. The high temperature of the flame of fuel combustion (up to 2000 K) at pressures of 2-8

MPa provides a high conversion of fuel and the production of syngas minimally contaminated with various coal-tars. Ash under these conditions melts, falls into the lower part of the gas generator and is removed from there for cooling, granulation and disposal. Such high temperatures in the generator provide high performance, but also significantly increase the wear and tear of structures, increasing costs and reducing time to failure.

Figure A.4 shows a scheme of a two-stage gasification process developed by “Destec”. This scheme allows obtaining highly efficient conversion of coal-water slurries (CWS) to synthesis gas using high purity oxygen blow. The mixture of fuel suspension and oxygen is supplied to the lower part of the gas generator, where water evaporates and the partial oxidation of coal occurs at a temperature of ~ 1650 K and a pressure of 2.5 MPa. Crude syngas with a high temperature rises to the upper part of the reactor, where additional CWS + O₂ is supplied. During the course of a series of endothermic reactions, the temperature of the generating gas decreases, and its calorific value increases.

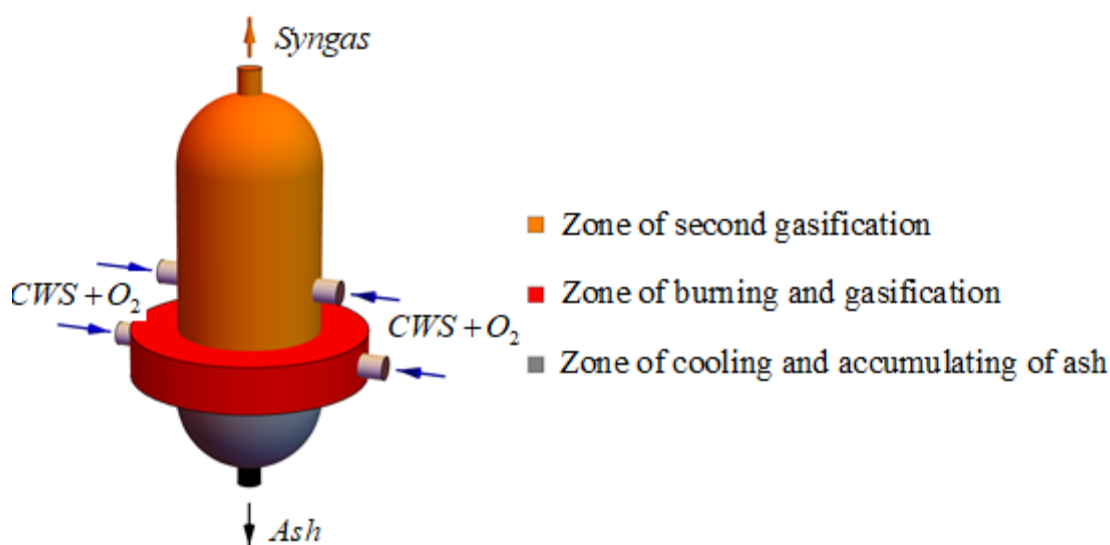


Figure A.4 – Scheme of gas generator column based on gasification in gas-dust stream

The use of pure oxygen and a sufficiently high carbon dioxide content in the produced gas are the main disadvantages of gasification in a gas-dust stream.

However, the design of fuel supply systems is almost similar to coal-dust systems of the “classical” coal-fired power industry.

One of the methods of associated conversion of hydrocarbons is coal gasification in the molten bath. Coal charge is added to the molten metal, synthesis gas releases and flows to the upper part of the working volume. Plant based of this method was implemented in South Africa, that converts up to 300 thousand tons of coal per year and produces 1650 nm³ of syngas per ton of metal. Although this technology is attractive due to the possibility of converting low-reactive fuels (coal preparation waste), these units are able to work only in the same mode (nominal), since they require a stable temperature level of the molten bath. Syngas obtained by this method, oxides of nitrogen and sulfur, due to the high temperature of the process.

The composition of the syngas produced by the gasification methods is highly dependent on the type of fuel, the method and parameters of gasification. For example, the composition of the generator times, obtained in simple installations of gasification in a fluidized bed or gasification in a dense layer, is as follows: CO about 25-27% by volume, CO₂ up to 5% vol., CH₄ 2-3% vol., H₂ up to 15% vol. %, and about 50 vol.% of nitrogen with fractions of a percentage of sulfur dioxide and oxygen. When using anthracite, a similar composition is obtained, but less than 5 times methane and more carbon dioxide. The addition of water vapor makes it possible to increase the content of CO and hydrogen with a decrease in temperature.

The coal gasification methods described in this section use the auto thermal mode. Autothermal mode involves the use of heat from the partial combustion of the fuel (about 30% according to the above typical composition of the generator gas) for the conversion of its main part, which undoubtedly reduces attractiveness of technology. The task of reducing the proportion of fuel heat used for its gasification is one of the main tasks in this area.

The need to construct large-scale structures of gasifiers designed for high pressures (up to 8 MPa) and temperatures is another problem hampering the introduction of gasification of solid fuels in the energy sector and industry.

High-performance reactors operating on the Fischer-Tropsch, Lurgi and other processes have bad maneuverability. The processes of starting and stopping such an industrial gasifier are a complex task, requiring high time and human resources.

Upon the conducted analysis it can be concluded that coal gasification is one of the most efficient methods allowing to minimize the coal consumption and increase the power generation.