

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический институт

Направление подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Влияние структуры топлива, температуры и свойств окислителя на состав образующегося синтез-газа при газификации кокса»

УДК 536.422+532.546.6.

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM5A	Арюков Роман Нариманович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ПГС и ПГУ	Субботин Александр Николаевич	д.ф.-м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности	Бородин Юрий Викторович	к.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПГС и ПГУ	Заворин Александр Сергеевич	д.т.н., профессор		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

Код	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Универсальные компетенции		
Р1	Способность и готовность самостоятельно учиться и развивать свой общекультурный и интеллектуальный уровень, изменять свой научный и научно-производственный профиль в течение всего периода профессиональной деятельности с учетом изменения социокультурных и социальных условий, вести педагогическую работу в области профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-11), Критерий 5 АИОР (п. 2.6.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р2	Способность проявлять и использовать на практике навыки и умения организации работ по решению инновационных инженерных задач в качестве члена или руководителя группы, нести ответственность, в том числе в ситуациях риска, за работу коллектива с применением правовых и этических норм при оценке и самооценке профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов, проблемных инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-2; ОПК-1; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.3., п. 2.4., п. 2.5.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р3	Способность и готовность приобретать и применять новые знания и умения с использованием методологических основ научного познания и библиографической работы с привлечением современных технологий, понимать роль информации в развитии науки, анализировать её естественнонаучную сущность, синтезировать и творчески применять при	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	решении инновационных профессиональных задач	
P4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте	Требования ФГОС ВО (ОК-1; ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом, принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять, представлять и докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке	Требования ФГОС ВО (ОК-2,3; ОПК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Профессиональные компетенции		
P6	Способность и готовность выполнять инженерные проекты с использованием современных технологий проектирования для разработки конкурентно способных энергетических установок с использованием знаний теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах и аппаратах	Требования ФГОС ВО (ОПК- 1,2; ПК-1,2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.3.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Способность и готовность ставить и решать инновационные задачи инженерного профиля, анализировать, искать и вырабатывать компромиссные решения с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности, использовать методы решения задач оптимизации параметров в различных сложных системах	Требования ФГОС ВО (ОПК- 1,2; ПК-1,2,5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные	Требования ФГОС ВО (ОПК- 1,2; ПК-4,5,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4, п. 1.6.), согласованный с

Код	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы, современных технологий по утилизации отходов в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области	Требования ФГОС ВО (ОПК- 1; ПК-7,8,9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, готовность следовать их корпоративной культуре	Требования ФГОС ВО (ПК- 9,10), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт Энергетический
 Направление подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение
 Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Заворин А.С.
 (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
5ВМ5А	Арюкову Роману Наримановичу

Тема работы:

Влияние структуры топлива, температуры и свойств окислителя на состав образующегося синтез-газа при газификации кокса	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 07.02.2017 г. №592/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Материалы, подготовленные в процессе прохождения производственной практики, результаты НИР кафедры ПГС и ПГУ
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Введение. 2. Современное состояние исследований по газификации угля. 3. Обзор по теплофизическим и кинетическим параметрам бурых и каменных углей и их продуктов разложения. 4. Физическая постановка задачи моделирования. 5. Математическая модель исследуемого явления. 6. Анализ результатов численных расчетов. 7. Численный метод решения задачи. 8. Мероприятия по безопасности жизнедеятельности при проведении работ по моделированию. 9. Техничко-экономическое обоснование моделирования процесса газификации. 10. Заключение.
Перечень графического материала	1. Физическая постановка задачи – 1 слайд. 2. Математическая постановка задачи – 1 слайд. 3. Результаты численного моделирования в графическом виде – 3...5 слайдов.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна
Социальная ответственность	Бородин Юрий Викторович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
4. Физическая постановка задачи моделирования. 5. Математическая модель исследуемого явления. 6. Анализ результатов численных расчетов.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	13.03.2017 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ПГС и ПГУ	Субботин Александр Николаевич	д.ф.-м.н., доцент		13.03.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ5А	Арюков Роман Нариманович		13.03.2017

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

Студенту:

Группа	ФИО
5BM5A	Арюкову Роману Наримановичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Исследование проводится на базе НИ ТПУ, поэтому для его проведения понадобится: компьютер с необходимой программой для расчета модели – 50000 рублей; зарплата работников: руководитель - 300р./день, лаборант – 150р./день, инженер и программист – 175 р./день
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	–
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Возможная премия или покрытие рисков связанным с опозданием по срокам – 10%; Районный коэффициент – 30%; Отчисления на социальные нужды – 27%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ
2. Разработка устава научно-технического проекта	Организация и планирование НИР
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Обоснование потребности в инвестициях в основной капитал Формирование сметы затрат на НИР
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка интегральной эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Таблица состава и структуры длительности НИР
2. Таблица планирования НИР
3. Линейный и календарный график выполнения НИР

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистентка кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM5A	Арюков Роман Нариманович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM5A	Арюкову Роману Наримановичу

Институт	Энергетический	Кафедра	ПГС и ПГУ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Рассматриваемая рабочая зона представляет собой аудиторию № 224 четвертого корпуса НИ ТПУ, в которой студентом проводилась работа по исследованию высокотемпературной паровой газификации кокса для магистерской диссертации. В частности, выполнялись рентгеносъемка, измерение данных и обработка их на компьютере. В помещении существует опасность поражения рентгеновским излучением, электрическим током и возникновения возгорания. Помимо этого, на находящихся в таком помещении людей могут оказывать влияние вредные факторы, такие как некачественное освещение, шум, электромагнитное излучение, запылённость и ненадлежащее состояние микроклимата.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)

Основными вредными факторами при работе в рассматриваемой рабочей зоне являются факторы, связанные с качеством освещения, уровнем шума, состоянием микроклимата, запылённостью и интенсивностью излучения. Необходимо определить нормативные значения данных факторов для данного помещения. Предложить мероприятия по уменьшению воздействия вредных факторов и привести возможные средства защиты.

Основными опасными факторами для данного помещения являются возможность поражения электрическим током и возникновение пожара. Источниками возникновения данных факторов являются электрооборудование и неправильное обращение с ним. Необходимо рассмотреть средства и мероприятия по организации безопасной работы с ним, а также средства защиты (например, месторасположение и порядок использования средств пожаротушения).

<ul style="list-style-type: none"> – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p><i>Рассматриваемая рабочая зона не оказывает существенного воздействия на атмосферу, гидросферу и литосферу. Срок эксплуатации комплектующих данного оборудования достаточно велик.</i></p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p><i>Наиболее возможными ЧС в рассматриваемой рабочей зоне являются поражение людей электрическим током и возникновение пожара. Для их предупреждения необходимо строгое соблюдение правил безопасности и норм, определяющих порядок работы с оборудованием. Персонал и студенты для допуска к работе должны изучить технику безопасности и уметь правильно действовать в случае ЧС. Рассмотреть средства, определяющие действия при возникновении ЧС и ликвидации их последствий (например, план эвакуации и средства пожаротушения).</i></p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Определить порядок и организацию работы в рассматриваемом помещении, обеспечивающие безопасные и комфортные условия труда, с соблюдением санитарных и технологических норм</i></p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности	Бородин Юрий Викторович	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ5А	Арюков Роман Нариманович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 94 страниц, 10 рисунков, 22 таблиц, 36 источников и одного приложения.

Ключевые слова: перегретый пар, конверсия кокса, продукты газификации, математическое моделирование.

Объектом исследования является состав выходящих газов при моделировании математической модели высокотемпературной паровоздушной конверсии кокса.

Целью работы является теоретическое исследование влияния температуры пара и структуры конверсируемого кокса на состав образующихся горючих газов при наземной высокотемпературной паровой газификации кокса.

В процессе исследования проводились: подготовка, доработка математической модели; математические подсчеты, для получения необходимых данных: влияния температуры паровоздушного окислителя и структуры кокса на состав образующегося синтез газа в математической модели.

В результате исследования получены графики зависимости влияния температуры паровоздушного окислителя и структуры кокса на состав образующегося синтез газа, выявлены наилучшие для наибольшей эффективности для дальнейшего использования температура окислителя и пористость кокса.

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания математической модели газификатора для конверсии кокса в среде водяного пара при высоких температурах, которые могли бы служить инструментом для оценки состава продуктов газификации.

Область применения: научное производство, медицина, пищевая промышленность, химическое производство.

Обозначения, сокращения, нормативные ссылки

НИР – научно-исследовательская работа

НТИ – научно-техническое исследование

ИИМ – итерационно-интерполяционный метод

Оглавление:

	с.
1 Введение.....	13
2 Современное состояние исследований по газификации угля	17
3 Обзор по теплофизическим и кинетическим параметрам бурых и каменных углей и их продуктов разложения	27
4 Физическая постановка задачи моделирования.....	35
5 Математическая модель исследуемого явления	37
6 Анализ результатов численных расчетов	41
7 Численный метод решения задачи	51
8 Мероприятия по безопасности жизнедеятельности при проведении работ по моделированию	58
9 Техничко-экономическое обоснование моделирования процесса газификации.....	77
10 Заключение	88
Список публикаций.....	90
Список использованной литературы.....	91

Приложение 1 INFLUENCE OF THE PROPERTIES OF STEAM-DIMENSIONAL OXIDIZER AND THE STRUCTURE OF COKE ON THE COMPOSITION OF THE GENERATING SYNTHESIS GAS AT THE GASIFICATION OF FUEL

1. Введение

Универсальным методом переработки твердого топлива является газификация. Газифицировать можно любые твердые топлива, такие как торф, бурый уголь, каменный уголь, в том числе и антрацит, независимо от состава зольной части, их химического состава, структурности, влажности, примесей серы и других свойств. Во-вторых, газифицируя твердое топлива можно получить любой состав горючего газа: чистые газы – водород (H_2), оксид углерода (CO), метан (CH_4), смеси этих газов, которые могут быть использованы для синтеза метанола, аммиака или генераторного газа, последний можно сжигать в любых энергетических установках. В-третьих, важной особенностью метода конверсии твердого топлива являются его масштабные применения. [1]

Актуальность работы. В общем объеме потребляемого топлива в энергетике – твердое топливо занимает значительную долю. В частности, в энергетике на долю угля в Европе и США приходится около 60%. В Российской энергетике примерно 18% составляет использование угля. По стратегии развития Российской угольной отрасли планируется экспорт угля для коксохимической промышленности значительно увеличить. Планируемый существенный рост экспорта угля приведет к увеличению добычи угля и еще большему увеличению скапливающихся отходов, которые состоят, обычно, из *штыба* и *шламов*. Сжигание таких отходов малоэффективно, так как их зольность велика, доходит до 50% и выше. Самым подходящим методом использования таких отходов является их газификация. В современных технологиях для газификации твердых топлив, чаще всего, применяют парокислородное или паровоздушное дутье. Такая технология имеет свои достоинства и недостатки. К недостаткам можно отнести, например, содержание в синтез-газе балластных примесей, часть же углерода может сгорать в газогенераторе. Поэтому актуальной задачей является создание

математической модели, которая с достаточной для практики точностью описывала бы процессы, протекающие в газификаторе при конверсии твердых топлив в среде различных окислителей, Такая математическая модель может служить инструментом для оценки состава продуктов газификации в зависимости от вида топлива и состава окислителя. С помощью такой модели гораздо легче, чем на лабораторной установке, можно отыскивать оптимальные режимы конверсии твердых топлив [1,2].

Сотрудниками Кузбасского технологического университета была создана экспериментальная установка для высокотемпературной паровой газификации кокса [1,2]. На этой лабораторной установке были проведены эксперименты и получены зависимости, устанавливающие влияние температуры вдуваемого окислителя (водяного пара) на состав получаемого синтез-газа.

Создание промышленной технологии для конверсии твердых топлив требует большого объема экспериментальных исследований, которые могут быть значительно сокращены, если применить сочетание лабораторных экспериментальных исследований с численным моделированием. Поэтому является актуальной задача численного моделирования процессов тепло- и массообмена при конверсии органических веществ в газификаторе [1,2].

Для решения данной задачи и сокращения затрат на экспериментальные исследования на кафедре ПГС и ПГУ Томского политехнического университета была разработана математическая модель газификации, удовлетворяющая результатам лабораторных экспериментов, проводимым на кафедре Теплотехники КузГТУ. На базе этой модели были проведены все исследования представленные в данной работе.

Цель работы. Теоретическое исследование влияния структуры конвертируемого твердого топлива, температуры и свойств высокотемпературного окислителя на состав образующихся горючих газов при паровой или парокислородной газификации углеродсодержащих веществ лесоперерабатывающей или угледобывающей промышленности на параметры

получаемого синтез-газа с целью развития более совершенных подходов при производстве тепловой и электрической энергии.

Задачи исследования:

1. Получение закономерностей влияния температуры и свойств окислителя на количественный и качественный выход синтез-газа.
2. Усовершенствование математической модели процесса газификации твердого топлива высокотемпературным окислителем, ее численное решение и сопоставление полученных результатов с известными экспериментальными данными.
3. Изучение влияния структуры углеродосодержащих веществ на выход синтез-газа.

Научная новизна.

1. Усовершенствована математическая модель конверсии твердого топлива в потоке высокотемпературного окислителя, в которой учитываются свойства всех продуктов участвующих в процессе конверсии и основные реакции, протекающие при газификации.
2. Получены закономерности влияния структуры топлива и свойств окислителя на характеристики получаемого синтез – газа.

Наиболее важными результатами, полученными в ходе выполнения работы, являются представленные в таблицах данные по составу синтез-газа в зависимости от структуры кокса, температуры и состава окислителя и графические зависимости поясняющие механизм протекания исследуемого процесса.

При выполнении ВКРМ было проведено технико-экономическое обоснование математического моделирования процесса конверсии твердого топлива, рассмотрены мероприятия по безопасности и жизнедеятельности при проведении работ по моделированию.

Объект исследования – процесс газификации углеродосодержащих веществ в потоке высокотемпературного водяного пара или парокислородного окислителя.

Предметом исследования является синтез-газ, изменение его состава (качественного и количественного) от различных параметров проведения процесса конверсии.

Метод исследования – численное решение краевой задачи, моделирующей процесс конверсии, разностная схема которой получена с применением итерационно-интерполяционного метода.

Достоверность полученных результатов подтверждается согласованием проведенных численных расчетов с известными лабораторными исследованиями по высокотемпературной паровой газификации кокса.

Апробация работы. Полученные в работе результаты докладывались на научном форуме с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем (2015 г., СПб), на II Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции «Введение в энергетику», (2016 г., Кемерово), Международной молодежной научной конференции «Тепломассоперенос в системах обеспечения тепловых режимов энергонасыщенного технического и технологического оборудования» (2017 г., Томск).

Публикации. По теме ВКР опубликованы три работы, одна работа индексируется в Scopus.

Личный вклад автора состоит в анализе современного состояния исследований по газификации угля, обзоре теплофизических и кинетических параметров бурых и каменных углей и их продуктов разложения, проведении численных расчетов, анализе и оформлении полученных численных результатов, технико-экономическом обосновании моделирования процесса газификации, рассмотрении мероприятий по безопасности жизнедеятельности при проведении работ по моделированию

2. Современное состояние исследований по газификации угля

Газификация – преобразование органической части твёрдого или жидкого топлива в горючие газы при высокотемпературном (1000–2000 °С) нагреве с окислителем (водяной пар, воздух, CO₂, кислород или, чаще, их смесь). Получаемый в результате процесса газификации газ называют генераторным по названию аппаратов – газогенераторов, в которых проводится процесс [3].

Для процесса газификации сырьем обычно служит твердое топливо (горючие сланцы, дрова, бурый уголь, торф, каменный уголь, мазут, и др.).

Совокупность процессов, протекающих в ходе газификации твёрдых топлив (пиролиз, полное окисление, неполное горение) называют конверсией.

Существует несколько способов проведения процесса газификации сырья: кускового – в плотном слое, мелкозернистого — в «кипящем слое», пылевидного и жидкого – в факеле. При газификации твёрдого топлива в газовую фазу переходит до 80 % органической части топлива. Из-за нечувствительности к качеству сырья и наличию балластов (минеральных примесей и влаги) метод находит широкое применение для переработки низкосортных видов топлива. Кроме того, полученное газообразное топливо при сжигании выделяет значительно меньшее количество вредных веществ, нежели при прямом сжигании твёрдого топлива. [3]

Газификация нефтяного сырья (чаще всего тяжёлые нефтяные остатки) проводится при 1400–1500 °С, атмосферном или повышенном (4–8 МПа) давлении в присутствии окислителя – воздуха, иногда с применением катализаторов (боксит, кислые глины, никель, кобальт).

В зависимости от применяемого дутья получают виды газообразного топлива: синтез-газ, водяной газ, воздушный газ, смешанный газ.

Синтез-газ – преимущественно смесь монооксида углерода и водорода. В промышленности получают паровой конверсией метана, парциальным окислением метана, плазменной газификацией отходов и сырья, газификацией

угля. В зависимости от способа получения соотношение $\text{CO} : \text{H}_2$ варьируется от 1:1 до 1:3. [4]

Соотношение компонентов в синтез-газе колеблется в широком диапазоне, поскольку зависит как от применяемого сырья, так и от вида конверсии - водяным паром или кислородом

Соотношение компонентов зависит также от метода и условий газификации углей. Наибольшее распространение имеет метод Лурги, по которому получается сырой газ состав: 15-18 % CO , 38-40 % H_2 , 9-11 % CH_4 , 30-32 % CO_2 . При повышении температуры возрастает содержание оксида углерода, при повышении давления — водорода и метана. При этом наличествуют примеси инертных газов (N_2 и др.) и сероводорода, если в сырье были серосодержащие продукты. Синтез-газ проходит очистку сероводорода и диоксида углерода при помощи селективных растворителей. Соотношение между CO и H_2 при необходимости меняют конверсией оксида углерода водяным паром.

Полученные в ходе газификации генераторные газы используются в качестве топлива, а после очистки от H_2S , CS_2 , CO_2 – как источник водорода в производстве аммиака, смесь реагентов в производстве метанола и жидких углеводородов (синтез Фишера-Тропша) и др. [4]

Современные газогенераторы имеют мощность для твёрдого топлива до 80000 $\text{м}^3/\text{ч}$ и до 60000 $\text{м}^3/\text{ч}$. Техника газификации развивается в направлении повышения производительности (до 200000 $\text{м}^3/\text{ч}$) и КПД (до 90 %) путём повышения температуры и давления процесса (до 2000 °С и 10 МПа соответственно).

Проводились опыты по подземной газификации углей, добыча которых по различным причинам экономически не выгодна.

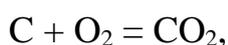
Газогенератор – устройство для преобразования твёрдого или жидкого топлива в газообразную форму. Наиболее распространены газогенераторы, работающие на дровах, древесном угле, каменном угле, буром угле, коксе и

топливных пеллетах. Газогенераторы, использующие в качестве топлива мазут и другие виды жидкого топлива, применяются значительно реже.

Газогенераторы иногда применяются для более полного сжигания отходов деревообработки и сельскохозяйственной продукции (опилки, лузга семечек и т. д.). Использование газогенератора позволяет сократить выбросы в атмосферу.

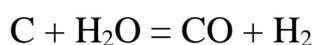
Газогенератор позволяет газифицировать твёрдое топливо, что делает его использование более удобным и эффективным, будь то отопительный котёл, двигатель внутреннего сгорания, газовая турбина или химическая промышленность.

В газогенераторе протекает несколько основных химических реакций. При горении с обедненным количеством кислорода (пиролиз) протекают реакции окисления угля и углеводородов:



с выделением тепловой энергии.

После чего реакции восстановления:



с потреблением тепловой энергии.

Активная часть газогенератора состоит из трёх перетекающих участков: термического разложения топлива, окисления, восстановления. Кроме устройств с внешним подводом тепла, где зоны окисления нет.

Основными горючими компонентами в получаемом "генераторном газе" являются водород (H_2), оксид углерода (CO), метан (CH_4) и непредельные углеводороды. Прочие вещества, в основном, являются балластом и за исключением кислорода не участвуют в процессе сгорания газа, либо препятствуют ему. Состав получаемых газов сильно зависит от типа топлива и конструкции газогенератора. При работе газогенератора обращенного процесса

на сухом древесном топливе (дровах) на горючие компоненты приходится чуть более 1/3 объемного содержания H_2 – (15-17)%, CO – (20-21)%. Большую часть составляют азот N_2 (около 50%) и углекислый газ CO_2 (около 10%).[4]

Энергетическая ситуация в мире диктует необходимость более бережного и ответственного отношения к ископаемым топливам, активного использования в балансе угольного топлива разработок безотходных угольных технологий, экологически безопасных технологий использования топлива, вовлечение возобновляемых нетрадиционных источников энергии, повышения КПД тепловых электростанций, низкосортных энергетических топлива. Так доля угля в топливно-энергетическом балансе США составляет 60%, в Европе в целом – 60, в Китае – более 80, а в России – менее 20 [5], что недопустимо мало. Главная причина данной ситуации заключается в низкой стоимости газа (в топливно-энергетическом балансе России на долю газа приходится 60%) в России для внутреннего потребления и ценовая диспропорция между углем и газом. Научные прогнозы показывают, что мировая добыча нефти и природного газа достигнет максимума к 2020 – 2030 гг., а затем начнется неизбежное, в глобальном масштабе, снижение их добычи [6]. Такой прогноз делают, исходя из оценки извлекаемых запасов угля. Мировые запасы угля, доступного к разработке по прогнозам, оцениваются в 2,5–3 трлн. тонн. Если предположить, что мировая добыча угля будет оставаться на прежнем уровне (примерно 3 млрд. тонн), то его хватит примерно на 1000 лет. В работе [6] отмечается, что запасы угля составляют около 68% от общих ресурсных запасов горючих ископаемых планеты, в то время как на долю нефти и газа приходится всего лишь 13 и 19 % соответственно. Поэтому задача увеличения добычи и переработки твёрдого топлива, как за рубежом, так и в нашей стране приобретают важное народнохозяйственное значение. Наиболее перспективными в энергетической стратегии при этом являются технологии с газификацией угля, оптимизация процессов сжигания углей и их смесей с бытовыми отходами и биомассой. Использование в качестве газифицируемого

сырья смеси угля с остатков переработки нефти, биомассой и другими отходами обеспечивают его минимальную стоимость.

В настоящее время существует более 70 типов газогенераторных процессов, часть которых используется в промышленных масштабах. Многообразие разрабатываемых и действующих технологий газификации твердых топлив имеет свое объяснение. Во-первых, это можно объяснить различием физических и химических свойств твердых топлив разных месторождений: по содержанию летучих веществ, элементному составу, влажности, содержанию и составу золы, соотношению в угольной массе Н/С, их термической стойкости, спекаемости углей. Во-вторых – различие во фракционном составе добываемых углей: крупнокусковой уголь, угольная мелочь, топливная пыль. Третьей причиной является требование к получаемому конечному продукту для топлив различного состава: синтез-газ (технологический) для химической технологии – 10900-12600 кДж/нм³; городской газ (отопительный) – 16800-21000 кДж/нм³; генераторный (энергетический) газ – теплота сгорания 3800-4600 кДж/нм³; восстановительный газ (для металлургических и машиностроительных производств) – 12600-16800 кДж/нм³; природный газ для транспортировки на дальние расстояния – 25000-38000 кДж/нм³.

В последнее время осуществляются постоянные поиски новых технических решений для снижения энергоматериальных затрат на процесс газификации, повышение надежности процесса, затрат на обслуживание и капитальных вложений. Наиболее перспективными являются термические процессы. Газификацию угля проводят с использованием различных высокотемпературных окислителей: паровое дутье, кислородное, воздушное, парокислородное, паровоздушное, при сверхкритических параметрах воды и т.п.

С экономической точки зрения одним из наиболее приемлемых способов газификации угля может быть способ в присутствии высокотемпературного

водяного пара невысоких давлений (до 1200°С), получаемого при горении водородно-кислородной смеси с инжекцией водяного пара в водородную горелку. Прорабатывается новая технология производства водорода в составе атомных комплексов (атомно-водородная энергетика) [7]. Предполагается использование электроэнергии, вырабатываемой на АЭС в ночное время, для получения водорода из воды с помощью электролизеров.

Экспериментальное оборудование и исследование:

Для исследования газификации твердых топлив в среде высокотемпературного водяного пара сотрудники кафедры Теплоэнергетики КузГТУ, г. Кемерово разработали экспериментальный стенд, схема которого показана на рис. 2.1. Установка предназначена для лабораторных исследований конверсии кокса.

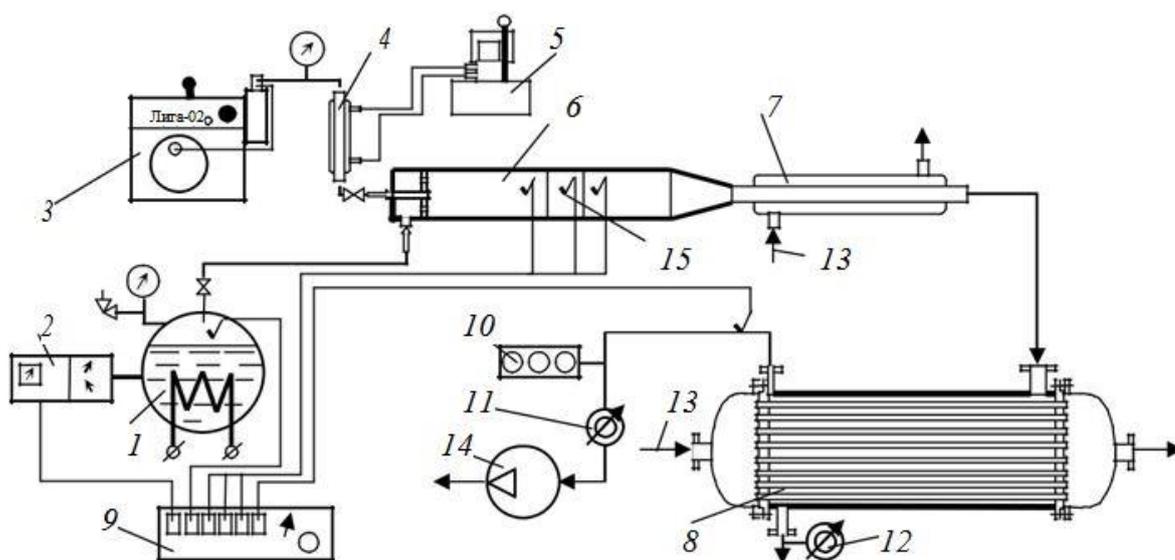


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки

Установка состоит из нескольких блоков и включает в себя: систему подачи водяного пара (поз. 1 и 2); систему подачи, термостабилизации и огнезащиты горючей смеси (поз. 3, 4 и 5); рабочего участка – высокотемпературного водородного пароперегревателя – ВВП (поз. 6); систему конденсации высокотемпературного пара, продуктов пиролиза и газификации, а также сепарации неконденсирующихся газов (поз. 7 и 8); систему регистрации массы конденсированной фазы и объема неконденсируемых газов (поз. 11 и 12).

12); аналого-цифровой системы регистрации параметров на экспериментальном стенде (поз. 9). В рабочий участок ВВП 6 одновременно подается водяной пар из парогенератора 1 и горючая смесь из электролизера 3. Диаметр сопла, через которое подается горючая смесь – 1,1–1,3 мм. Расход горючей смеси определяется производительностью электролизной установки, максимальное значение, которого составляет 5 л/мин. Расход водяного пара, подаваемого в рабочий участок ВВП, изменяется от 15 до 50 л/мин. Рабочий участок ВВП представляет собой полый цилиндр из кварцевого стекла внутренним диаметром 41 мм и длиной 350 мм. С одной стороны ВВП в торцевой части по оси вварена трубка, которая является обоймой для сопла и через него подается горючая смесь, а осесимметрично через 12 отверстий диаметром 4 мм в кварцевой перегородке, вваренной на конце трубки-обоймы, равномерно расположенных по концентрической окружности диаметром 28 мм, подается водяной пар. Внутренний диаметр трубки для сопла 10 мм. Диаметр трубки подбирался с условием исключения возникновения напряжения, возможно, создаваемого медным соплом в горячем состоянии.

Для получения водяного пара используется электрический парогенератор 1, объем которого 20 л. Давление водяного пара до 0,3 МПа. Мощность нагревателя до 6 кВт. Расход воды – до 9 кг/час. Время непрерывной работы около 2 часов. Для регулирования давления и температуры получаемого водяного пара применена система термостабилизации. Блок термостабилизации парогенератора автоматически регулирует напряжение, подаваемое к электрическим нагревателям парогенератора по давлению и температуре в нем. Предел изменения мощности от 1 до 10 кВт. Точность стабилизации по давлению – $\pm 0,01$ МПа, по температуре – $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Парогенератор снабжен манометром и предохранительным клапаном.

Для регулировки расхода пара на выходе парогенератора используется блок из 4-х диафрагм. Диафрагмы установлены параллельно друг другу и включаются и выключаются с помощью вентиля. Диаметр диафрагм 1 мм.

Расход пара на диафрагмах измерялся весовым способом, для чего в течение определенного промежутка времени производилась полная конденсация пара с последующим определением его веса.

Для выставления точного расхода горючей смеси на сопле при подаче в ВВП производится измерение давления на выходе из газовой системы. Манометр измеряет давление на выходе газовой системы со шкалой 0–1 Бар, точностью измерения 0,005 Бар.

Для измерения температуры водяного пара, температуры внутри рабочего участка ВВП, температуры на выходе из ВВП, температуры внутри углеродсодержащего материала, подвергающегося пиролизу и газификации, температуры конденсата используются хромель-копелевые ХК и хромель-алюмелевые ХА термопары с диаметром проволоки 0,2 и 1,2 мм, соответственно.

Образовавшийся высокотемпературный водяной пар в смесительной области рабочего участка ВВП, поступает в сборку 15, представляющую собой плотный слой измельченного углеродсодержащего (уголь, шламы, древесина и их смеси), при температуре в диапазоне 800 – 1200°С. Фракционный состав исследуемого материала, подвергающегося пиролизу и газификации при указанных температурах, имеет размер в диапазоне 0,3 – 2,0 мм. Плотный слой материала (сборка) 15 в ВВП удерживается с двух сторон ограничительными сетками из нержавеющей стали с ячейкой 0,4 × 0,4 мм и имеет толщину слоя от 20 до 50 мм. При движении высокотемпературного пара в поровом пространстве углеродсодержащего материала, происходит его пиролиз и газификация.

После прохождения углеродсодержащего материала газ, полученный в процессе пиролиза и газификации, и перегретый пар, подаются в первичный конденсатор-охладитель 7. Первичный конденсатор-охладитель выполнен в виде теплообменника труба в трубе. В кольцевом пространстве конденсатора-охладителя циркулирует охлаждающая вода из магистрали 13. После

предварительного охлаждения газопаровая смесь подается в конденсатор-сепаратор 8. В нем происходит полная конденсация пара и сепарация конденсата от не конденсируемых газов. Конденсатор-сепаратор выполнен в виде трубчатого теплообменника из нержавеющей стали, в трубном пространстве которого циркулирует охлаждающая вода из магистрали 13.

На выходе из конденсатора-сепаратора конденсированной фазы и неконденсируемых газов производится отбор проб для аналитического исследования состава продуктового газа и конденсата. Проводится также общий и элементный анализ коксового остатка. Химический анализ жидких и твердых образцов проводится на спектрофотометре Shimadzu UV-3600. Химический анализ проб продуктового газа проводится с использованием газового хроматографа Цвет-800 для определения H_2 , O_2 , CH_4 , CO и CO_2 .

Режимы работы ВВП. В режиме запуска вначале подается в пароперегреватель поток водяного пара с заданным расходом, а затем включается подача горючей смеси и инициируется ее поджог. В рабочем режиме пароперегревателя происходит перегрев поступающего водяного пара путем его смешения с высокотемпературным водяным паром, образующимся в результате сгорания водород-кислородной смеси. Температура получаемого водяного пара характеризуется высокими значениями и зависит от концентрации горючей смеси в потоке поступающего водяного пара. Рекомендуемая концентрация горючей смеси для достижения температур водяного пара в ВВП на уровне $1000 - 1200^\circ C$ составляет $20 - 30\%$ объемных значений к объемной подаче водяного пара. В режиме прекращения работы ВВП вначале выключается подача горючей смеси и после этого происходит прекращение подачи водяного пара.

В настоящее время известны исследования по конверсии твердых углесодержащих топлив в среде водяного пара в пределах $750 - 900^\circ C$ низкого давления [8, 9]. Способ переработки органического сырья в СКВ и водяном паре при температурах до $900^\circ C$ имеют определенные недостатки. Во-первых,

для проведения процесса необходимо достаточно сложное и дорогостоящее оборудование (процессы в СКВ требуют металлоемких реакторов). Во-вторых – достигаемые в настоящее время температуры (до 900° С) при давлениях, близких к атмосферному, не являются оптимальными с точки зрения эффективного ведения процесса. Так, в [7, 8] отмечено, что с ростом температуры пара в процессе конверсии органического сырья имеет место тенденция к значительному увеличению выхода основных продуктов реакций (H₂, CO, CH₄). В настоящее время Институтом теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН предложен способ получения высокотемпературного водяного пара низкого давления, вплоть до 1200° С. Для конверсии углерода имеем

$$X = (W - W_{\text{ash}}) (W_0 - W_{\text{ash}}),$$

где W_0 – масса угля (древесины), измеренная до конверсии;

W_{ash} – масса золы, определяемая после завершения конверсии углерода в рабочем участке при соответствующей продолжительности процесса;

W – масса угля (древесины) в зависимости от τ , времени пребывания его в перегретом паре.

Скорость конверсии по времени для различных температур реакции определена на основе поверхностной модели, в которой предполагается, что конверсия происходит только на поверхности частицы и не учитываются изменения структуры частиц угля при конверсии. Площадь поверхности при этом уменьшается пропорционально $(1 - X)^{2/3}$, поэтому согласно [7]

$$dX/d\tau = k \cdot \exp(-E/RT) P^n (1 - X)^{2/3},$$

где k – константа скорости реакции,

E – энергия активации.

Для реакции пароводяной газификации n в уравнении (2), как сообщается в предыдущей работе [7], имеет различное значение. Для парциального давления водяного пара в пределах 0,025-0,08 МПа = 1,0. В нашем случае при давлении пара 0,1 МПа также принято $n = 1,0$.

9. Техничко-экономическое обоснование моделирования процесса газификации

НИР посвящен исследованию влияния температуры паровоздушного окислителя и структуры кокса на состав образующегося синтез газа при газификации кокса.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является оценка эффективности и целесообразности научного исследования, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе его реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- Планирование работ по научно-исследовательскому проекту;
- Формирование сметы на проведение НИИ
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования [34].

9.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ

Исследование направлено на эффективную переработку отходов, образующихся вследствие сжигания углей на тепловых электростанциях, поиск их применения и нужных условий переработки для конкретных отраслей промышленности.

Рост добычи угля и планируемый экспорт приведет к увеличению скопившихся отходов, которые состоят, как правило, из шламов и штыба. Сжигание этих отходов малоэффективно, так как велика их зольность, до 50% и выше. Универсальным методом переработки таких отходов является их газификация. В современных газогенераторах, как правило, используется паровоздушное или парокислородное дутье. Такая технология имеет как достоинства, так и недостатки. В частности, к недостаткам можно отнести

содержание в синтез газе балластных примесей, часть углерода сгорает в газогенераторе. В связи с этим создание математической модели газификатора для конверсии твердых топлив в среде различных окислителей является актуальной задачей. Математическая модель позволяет увеличить эффективность и скорость выявления нужных условий и процессов; сократить затраты связанные с применением дорогостоящих материалов, людских и временных затрат; на проведение экспериментов на реальных экспериментальных установках. Математическая модель может служить инструментом для оценки состава продуктов газификации и отыскания оптимальных режимов процесса газификации. И позволяет выявить необходимость в данных научных экспериментах, как в энергетике, так и в медицине и в других отраслях жизнедеятельности человека в дальнейшем.

Альтернатив данной математической модели в настоящее время в мире единицы. Отыскать подобные разработки достаточно проблематично. А имеющиеся аналоги не отображают весь спектр возможных развитий процессов.

Создание правильной, удовлетворяющим различным условиям, а главное сравнимой и приближенной к реальным экспериментам математической модели позволит привлечь инвесторов, которые будут готовы вложиться в теоретические эксперименты, дабы сократить затраты связанные практическими экспериментами. В числе таких заказчиков могут выступать как научно-технические институты, занимающиеся разработкой газовых и парогазовых установок, так и институты, которым необходим синтез газ определенного состава в медицинских целях. Деньги, которые могут быть получены при удачно сложившихся обстоятельствах и правильной рекламе при необходимости, могут значительно окупить деньги, потраченные на выполнение данной ВКРМ. Расчеты затрат на работу производились в следующих пунктах.

В результате имеющихся данных, можно сделать вывод, что с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения коммерческого потенциала и

перспективности проведения научных исследований данная работа имеет хороший инновационный потенциал.

9.2 Планирование НИР

Работы по данному исследованию организуются руководителем научно-исследовательской работы в стенах четвертого корпуса Томского политехнического университета [35].

Фронт работ, его состав и структура по длительности представлены в таблице 9.2.1

Таблица 9.2.1 – Состав и структура длительности НИР

Наименование работ	Продолжительность, %
1. Научно-теоретические исследования:	
Обоснование методики исследования	5
Разработка теоретической части темы	12
Подготовка к эксперименту	23
Экспериментальные работы (всего):	45
а) Проведение моделирования при различной температуре вдуваемого окислителя;	25
б) Проведение моделирования при различной пористости кокса и удельной поверхности пор.	20
Анализ, выводы и предложения	10
Завершающий этап	5
ИТОГО:	100

В соответствии с составом работы, была распланирована работа и определены участники проекта.

Планирование работы заключается в составлении перечня работ, определении участников каждой работы, установлении продолжительности работ в рабочих днях, построении линейного или сетевого графика и его оптимизации [36].

Для того, чтобы выполнить НИР в срок при наименьших затратах средств, составляется план, в котором устанавливается число участников работы по этапам и определяется фронт работы. Число участников должно

быть максимально возможным по условиям выполнения того или иного этапа, на каждом этапе должны участвовать только действительно необходимые в соответствии со своей специализацией работники.

Для определения ожидаемого значения продолжительности применяют формулу:

$$t_{\text{ож.}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5},$$

где t_{min} – кратчайшая продолжительность работы;

t_{max} – самая длительная продолжительность работы.

Было принято решение, что в работе должны принимать участие четыре человека, отвечающие за разные функции: руководитель, инженер, лаборант и программист.

Согласно вышеизложенной формуле, рассчитан показатель планирование НИР. Результаты расчета представлены в таблице 9.2.2.

Таблица 9.2.2 – Планирование НИР

Наименование работ	Продолжительность работ, дни			Исполнитель
	t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$	
1. Постановка задач	1	1	1	Руководитель группы
2. Ознакомление с литературой	7	14	10	Инженер
3. Анализ исходной информации	6	8	7	Инженер
4. Наладка математической модели	7	14	10	Программист
7. Эксперимент	45	55	49	Лаборант
8. Обработка результатов	14	20	16	Инженер
9. Анализ результатов, выводы	6	8	7	Инженер
10. ИТОГО:	106	146	122	

Согласно данной продолжительности работ, был составлен линейный график и оценена общая продолжительность работ НИИ. Данные по продолжительности работ представлены в таблице 9.2.4

Таблица 9.2.4 – Линейный график НИР

Должность	Дни									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Руководитель	[График: Руководитель занят с 0 до 100 дней]									
Инженер	[График: Инженер занят с 0 до 20, с 40 до 80, с 90 до 100 дней]									
Лаборант	[График: Лаборант занят с 30 до 80 дней]									
Программист	[График: Программист занят с 10 до 30 дней]									

Был проработан удельный вес каждой из задач и составлен план – график выполнения НИИ. Результаты представлены в таблице 9.2.5.

Таблица 9.2.5 – Календарный план-график выполнения НИИ

Наименование работ	$t_{ож}$, дни	Удельный вес		Дни	Должность
		%	Нарастающий, %		
Постановка задач	1	0,82	0,82	[График: 0-10]	Руководитель
Ознакомление с литературой	10	8,20	9,02	[График: 0-10]	Инженер
Анализ исходной информации	7	5,74	14,76	[График: 10-17]	Инженер
Наладка математической модели	10	27,05	41,81	[График: 17-27]	Программист
Эксперимент	49	40,16	81,97	[График: 27-76]	Лаборант
Обработка результатов	16	13,11	95,08	[График: 76-92]	Инженер
Анализ результатов, выводы	7	4,92	100	[График: 92-99]	Инженер
Итого	100	100			

Таким образом, общая продолжительность работ по НИИ составила 122 рабочих дня или 168 календарных. В работе задействовано 4 человека разной специальности, наиболее протяженная по времени задача является проведение

эксперимента. Наиболее трудозатратой задачей является также проведение эксперимента, которую должен выполнить лаборант.

9.3.1 Обоснование потребности в инвестициях в основной капитал

Затраты, образующие себестоимость работ по исследованию «Влияние температуры паровоздушного окислителя и структуры кокса на состав образующегося синтез газа при газификации кокса», рассчитаны в следующих разделах и группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

- 1) материальные затраты: т.к. исследование проводится на базе ТПУ, то затратами связанными с арендой помещения можно пренебречь. Используется мощный компьютер для расчета модели с оперативной памятью более 8Гб, процессором с тактовой частотой выше 2Гц;
- 2) затраты на оплату труда приведены в таблице 6;
- 3) отчисления на социальные нужды;
- 4) амортизация основных фондов и нематериальных активов;
- 5) прочие затраты.

9.3.2 Смета затрат на НИИ

- 1) Материальные затраты:

Компьютер для расчета модели с оперативной памятью более 8Гб, процессором с тактовой частотой выше 2Гц для расчета модели марки DELL Inspiron: 50 000 рублей.

Ссылка с примером на необходимый компьютер: <http://www.dns-shop.ru/product/b9dbae364a423330/133-noutbuk-dell-inspiron-5368-serebristyj/>

Итого: $K_{\text{мат.зат}} = 50000$ руб.

- 2) Затраты на оплату труда рассчитывались согласно дневной ставки руководителя – 300 рублей, и дневной ставки остальных участников проекта: программист, инженер – 175 рублей, лаборант – 150 рублей. Результаты расчетов приведены в таблице 9.3.2.

Таблица 9.3.2 – Основная заработная плата участников НИР

Наименование работ	Трудоемкость, чел. дни				Дневная ставка, руб.	Суммарная зарплата, руб.
	Руководитель	Инженер	Лаборант	Программист		
1. Постановка задач	1				300	300
2. Ознакомление с литературой		10			175	1750
3. Анализ исходной информации		7			175	1225
4. Наладка математической модели				10	175	1750
5. Эксперимент			49		150	7350
6. Обработка результатов		16			175	2800
7. Анализ результатов, выводы		7			175	1050
8. ИТОГО	1	39	49	10	1325	16225

Согласно вычисленной сумме, районного коэффициента и возможных премий рассчитана реальная заработная плата участников проекта $Z_{\text{общ}}$:

$$Z_{\text{осн}}=16225 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{доп}}=0,1 \cdot Z_{\text{осн}}=0,1 \cdot 16225=1622,5 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{коэф.}}=0,3 \cdot 16225=4867,5 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{общ}}=Z_{\text{осн}}+Z_{\text{доп}}+P_{\text{коэф.}}= 22715 \text{ руб.}$$

3) Рассчитаны отчисления на социальные нужды

$$C_{\text{нужды}}=0,27 \cdot Z_{\text{общ}}=6103,05 \text{ руб.}$$

4) Амортизация основных фондов

$$U_{\text{аморт}}=0,11 \cdot K_{\text{мат.зат}} \cdot (\text{вр.экспл.обор}) = \\ =0,11 \cdot 51200 \cdot 0,085=467,5 \text{ руб.}$$

5) Прочие затраты

Оплата электрической и тепловой энергии, оплата за воду

$$U_{\text{электр.уст.}} = N_{\text{уст.}} \cdot t_{\text{вр.}} \cdot C_{\text{электр.}} = 0,2 \text{ кВт/час} \cdot 2400 \text{ час} \cdot 2,93 \text{ руб./кВт/час} = 1406,4 \text{ руб.},$$

$$U_{\text{электр.освещ.}} = 0,6 \cdot 400 \cdot 2,93 = 703,2 \text{ руб.},$$

$$U_{\text{на тепло}} = 1061,54 \cdot 4 = 4246,16 \text{ руб.},$$

$$U_{\text{на воду}} = 183,5 \cdot 4 = 734 \text{ руб.}$$

Командировочные расходы:

$$U_{\text{команд.}} = 0,12 \cdot Z_{\text{общ.}} = 0,12 \cdot 22715 = 2725,8 \text{ руб.}$$

Представительские расходы

$$U_{\text{предст.}} = 0,02 \cdot (Z_{\text{общ.}} + C_{\text{нужды}} + U_{\text{аморт.}}) = \\ = 0,02 \cdot (22715 + 6103,05 + 467,5) = 585,7 \text{ руб.}$$

Затраты на обеспечение нормальных условий труда и ТБ

$$Z_{\text{тб}} = 0,1 \cdot Z_{\text{общ.}} = 0,1 \cdot 22715 = 2271,5 \text{ руб.}$$

Расходы, связанные с управлением производством

$$P_{\text{упр.}} = 1,5 \cdot Z_{\text{общ.}} = 1,5 \cdot 22715 = 34072,5 \text{ руб.}$$

Таким образом, складывая все расходы, получаем себестоимость по НИР

$$C = K_{\text{мат.зат.}} + Z_{\text{общ.}} + C_{\text{нужды}} + U_{\text{аморт.}} + U_{\text{электр.уст.}} + U_{\text{электр.освещ.}} + U_{\text{на тепло}} + U_{\text{на воду}} + \\ + U_{\text{команд.}} + U_{\text{предст.}} + Z_{\text{тб}} + P_{\text{упр.}} = 50000 + 22715 + 6103,05 + 467,5 + 1406,4 + 703,2 \\ + 4246,16 + 734 + 2725,8 + 585,7 + 2271,5 + 34072,5 = 126030,81 \text{ руб.}$$

Общий бюджет затрат на НИР составил 126030,81 рублей.

9.4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности результатов исследования

При сравнительной оценке эффективности исследования рассмотрим интегральный показатель эффективности разработки. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности [35].

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{126030,8}{1000000} = 0,126, \quad (9.4.1)$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{\max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (9.4.2)$$

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a$$

где I_m - интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i - весовой коэффициент i -го параметра; b_i^a , b_i^p - бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n - число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 9.4.1.

Таблица 9.4.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Математическое моделирование с помощью нашей модели	Натурный эксперимент	Аналогичные модели
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	1	3
3. Правдоподобность	0,15	3	5	3
4. Энергосбережение	0,20	4	2	3
5. Надежность	0,25	3	4	3
6. Затраты на оборудование	0,15	5	1	5
ИТОГО	1	3,85	2,75	3,3

Как видно проведенных расчетов самый низкий интегральный показатель ресурсоэффективности при проведение натурального эксперимента. Для

дальнейших расчетов будут использованы показатели математического моделирования с помощью нашей модели и аналоги математического моделирования.

Интегральный показатель эффективности определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{3,85}{0,148} = 26,01, \quad (9.4.3)$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} = \frac{3,3}{0,148} = 22,3$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} = \frac{26,01}{22,3} = 1,17 \quad (9.4.4)$$

где $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{мэ}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{мэ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога [36].

В результате сравнения интегрального показателя эффективности было выявлено, что моделирование процесса с помощью математической модели высокотемпературной паровоздушной газификации разработанное на кафедре ПГС и ПГУ ЭНИН выше аналогов этой модели при сравнительной оценке в 1,17 раз.

Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Альтернатив данной математической модели в настоящее время в мире единицы. Отыскать подобные разработки достаточно проблематично. А имеющиеся аналоги не отображают весь спектр возможных развитий процессов. С позиции коммерческого инновационного потенциала и тех

результатов, которые могут принести в будущем потенциальную прибыль разработки являются выгодными. Отсюда делаем вывод, что проект является целесообразным и коммерчески привлекательным для потенциального потребителя.

2. Произведено планирование проектных работ, по результатам которого выяснено, что на реализацию потребуется 4 исполнителя (руководитель, лаборант, техник и инженер), общая продолжительность проекта - 100 рабочих дней.

3. Составлена смета затрат на проектирование. Проведен расчет капитальных и амортизационных вложений, расчет заработной платы исполнителей проекта и обслуживающего персонала, также были рассчитаны эксплуатационные и накладные расходы. Общая величина затрат на реализацию проекта составила 126030 рублей. Данная стоимость является оптимальной. В сравнении с конкурентами стоимость проекта меньше.

В заключительном пункте была рассмотрен интегральный показатель эффективности проекта. Сравнительная эффективность проекта в зависимости от ближайших конкурентов составила 1,17 раз. Поэтому проект можно считать экономически обоснованным, эффективным и целесообразным с позиции ресурсоэффективности.

Список публикаций

1. Арюков Р.Н., Субботин А.Н. Математическая модель газификатора кокса в среде высокотемпературного водяного пара. В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научного форума с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. 2015. С. 148-151.
2. R. N. Arukov and A.N. Subbotin. Physical Model and Bases of Mathematical Modelling of Above-Surface Gasification of Coal. Heat and Mass Transfer in the System of Thermal Modes of Energy – Technical and Technological Equipment (HMTTSC-2016). MATEC Web Conf. Volume 72, 2016, Article Number 01003, Number of page(s) 5.
3. Арюков Р.Н. Влияние температуры пара и структуры кокса на состав синтез-газа при конверсии кокса. СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ II ВСЕРОССИЙСКОЙ (С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ) МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ВВЕДЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКУ» 23 - 25 ноября 2016 г. КузГТУ, 2016. Доступ на сайте КузГТУ: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016/energ1/energ/index.htm>