

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

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы

УДК 681.5:665.652.72.023.2

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Виногородский Кирилл		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Стрижак П.А.	д.ф.-м.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин А.А.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Стрижак П.А.	д.ф.-м.н., профессор		

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы
магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при предварительном анализе, проектировании, синтезе, ресурсоэффективной эксплуатации автоматизированных и автоматических систем управления теплоэнергетическими процессами, а также систем теплотехнических измерений и регистрации
ПК(У)-2	Способен разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
ПК(У)-3	Способен 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
ПК(У)-4	Способен применять и совершенствовать фундаментальные и прикладные знания по современным динамично изменяющимся теплоэнергетическим технологиям, принципам, методам и системам их управления для прорывных научно-исследовательских работ
ПК(У)-5	Способен применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
ПК(У)-6	Способен проводить теоретические и экспериментальные научные исследования термодинамических и физико-химических процессов в теплоэнергетике, а также систем их контроля и управления, интерпретировать, давать практические рекомендации по внедрению результатов исследований в производство, критически их интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований

ПК(У)-7	Способен 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
ПК(У)-8	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

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 специализации ООП
 _____ Стрижак П.А.
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Виногородскому Кириллу

Тема работы:

АСУ ТП В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ РЕАКТОРЕ ФИШЕРА-ТРОПША ПРИ ПИРОЛИЗЕ КОМПОЗИЦИОННОЙ БИОМАССЫ

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>В НОЦ И.Н. Бутакова выполняется проект РФФИ БРИКС 19-53-80019. В рамках данного проекта спроектирован и смонтирован экспериментальный стенд. Актуальной задачей является автоматизация основных технологических процессов на стенде. Это обуславливает мотивацию настоящей магистерской диссертации.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	<p>Введение</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Научно-исследовательская работа; 2. Анализ объекта автоматизации; 3. Разработка проектной документации; <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Выбор и обоснование структуры АСР; 3.2. Разработка функциональной схемы АСР; 3.3. Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации; 3.4. Разработка принципиальной электрической схемы АСР; 3.5. Разработка монтажной схемы АСР;

	3.6. Разработка общего вида щита управления; 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 5. Социальная ответственность; Заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Схема структурная; 2. Схема функциональная; 3. Схема принципиальная электрическая; 4. Схема монтажная; 5. Общий вид щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Доцент ОСГН, к.э.н., Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Доцент ООД, к.т.н., Сечин Андрей Александрович

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Стрижак П.А.	д.ф.-м.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Виноградский Кирилл		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 109 страниц, 24 рисунка, 30 таблиц, 68 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, пиролиз, Фишера-Тропша, композиционное биотопливо, микропроцессорные технические средства.

Цель работы – разработка АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы.

В процессе выполнения работы проведен обзор литературных источников и выполнен анализ объекта автоматизации. Проведены экспериментальные исследования процесса пиролиза композиционной биомассы в реакторе Фишера-Тропша. Разработана проектная и конструкторская документация.

В результате выполнения магистерской диссертации с использованием современных микропроцессорных средств автоматизации разработана автоматизированная система управления в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы.

Автоматизированная система управления разработана с учетом технических требований, нормативных документов и исходя из результатов научно-исследовательской работы.

Основным преимуществом разработанной АСУ ТП является наличие SCADA-системы на основе использования программно-технического комплекса, который предоставляет возможность оперативно отреагировать на любую сложную ситуацию в процессе эксплуатации системы, а также удаленно поддерживать функционирование системы в целом.

Содержание

Реферат	6
Введение.....	9
1. Экспериментальные исследования.....	11
1.1 Обзор литературы	12
1.2 Экспериментальная методика.....	17
1.2.1 Экспериментальный стенд.....	17
1.2.2 Экспериментальная методика.....	18
1.3 Результаты и обсуждения.....	19
1.3.1 Варьирование температуры во второй ступени.....	19
2. Проектирование АСУ ТП экспериментального стенда Фишера-Тропша	36
2.1 Системный анализ объекта автоматизации.....	36
2.2 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления .	38
2.3 Разработка функциональной схемы системы управления.....	38
2.4 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации	39
2.4.1 Выбор технических средств измерения температуры	39
2.4.2 Выбор технических средств измерения расхода	40
2.4.3 Выбор газоанализатора	41
2.4.4 Выбор исполнительного механизма	42
2.4.5 Выбор регулирующего устройства	43
2.5 Разработка принципиальной электрической схемы шкафа автоматизации	44
2.6 Разработка монтажной схемы АСР.....	46
2.7 Разработка сборочного чертежа шкафа автоматизации	46
3. Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы.....	48
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	51
4.1 Предпроектный анализ.....	51
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	51
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	51

4.1.3 SWOT-анализ	54
4.2 Планирование научно-исследовательской работы (НИР)	57
4.2.1 Структура НИР	57
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	57
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	60
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	62
4.3.1 Основная заработная плата исполнителей проекта	62
4.3.2 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	64
4.3.3 Расчеты затрат на страховые взносы	65
4.3.4 Расчет накладных расходов	65
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	66
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	72
5.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства	72
5.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	73
5.2 Производственная безопасность	73
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов	73
5.3 Расчет системы искусственного освещения	79
5.3 Экологическая безопасность	83
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	83
Заключение	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	87
ПРИЛОЖЕНИЕ А	96

Введение

Автоматизация технологических процессов является одним из решающих факторов повышения производительности и улучшения условий труда. Все существующие и строящиеся промышленные объекты в той или иной степени оснащаются средствами автоматизации [1].

Автоматическая система управления – совокупность управляемого объекта и автоматических измерительных и управляющих устройств, в которой обработка информации, формирование команд и их преобразование в воздействия на управляемый объект осуществляются без участия человека.

Целью автоматизации является повышение производительности труда, улучшение качества продукции, оптимизация управления, устранение человека от производств, опасных для здоровья, повышение надежности и точности производства, увеличение конвертируемости и уменьшение времени обработки данных.

В рамках данной работы предусмотрена разработка системы пиролиза растительной биомассы в реакторе Фишера-Тропша. В настоящее время проблемы, связанные с ростом потребления энергоресурсов и изменением климата, требуют особого внимания [1]. Одним из важных шагов уменьшения загрязнения окружающей среды является частичная замена ископаемого топлива возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Важную роль в необходимом обеспечении спроса на энергию играет биомасса [2]. Данный вид топлива имеет ряд преимуществ: разнообразие видов, доступность, быстрая воспроизводимость, возможность непрерывной работы станций в отличие от установок, работающих на альтернативных возобновляемых источниках энергии, а также большое количество технологий преобразования, например, сжигание, газификация и пиролиз [3]. Наиболее распространенными видами биомассы для пиролиза являются древесина [4], отходы сельского [5] и лесного хозяйства [6], водоросли [7] и прочее. Биомасса состоит из трех основных компонентов (целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина), а также множества второстепенных компонентов (например, неорганических веществ).

Кристаллические полимеры глюкозы в целлюлозе жестко удерживаются вместе в виде пучков волокон, что обеспечивает прочность материала. Аморфные полимеры различных сахаров в гемицеллюлозах склеивают пучки целлюлозы. Лигнин является основным связующим для волокнистых целлюлозных компонентов, обеспечивающих не только жесткость конструкции, но и защиту от быстрого разрушения целлюлозных волокон [8].

Целью работы является создание автоматизированной системы управления в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы.

Основными задачами выпускной квалификационной работы являются:

- обзор литературных источников;
- экспериментальное исследование процесса взаимодействия капли многокомпонентного жидкого топлива с твердой нагретой поверхностью для проверки его работоспособности в условиях разрабатываемой системы.

- проведение системного анализа объекта автоматизации;
- выбор структуры автоматизированной системы управления;
- разработка необходимой для проектирования системы проектной документации:

- схема структурная;
- схема функциональная;
- заказная спецификация;
- схема монтажная внешних проводок;
- схема принципиальная электрическая шкафа автоматизации;
- перечень элементов схемы принципиальной электрической;
- сборочный чертеж шкафа автоматизации;

1. Экспериментальные исследования

В настоящее время проблемы, связанные с ростом потребления энергоресурсов и изменением климата, требуют особого внимания [9]. Одним из важных шагов уменьшения загрязнения окружающей среды является частичная замена ископаемого топлива возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Важную роль в необходимом обеспечении спроса на энергию среди играет биомасса [10]. Данный тип топлива имеет ряд преимуществ, таких как разнообразие видов, доступность, быстрая воспроизводимость, возможность непрерывной работы станций, в отличие от установок, работающих на альтернативных (ветер, солнце и др.) возобновляемых источниках энергии, а также большое количество технологий преобразования, например, сжигание, газификация и пиролиз [11]. Наиболее распространенными видами биомассы для пиролиза является древесина [12], отходы сельского [13] и лесного хозяйства [14], водоросли [15] и прочее. Биомасса состоит из трех основных компонентов (целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина), а также множества второстепенных компонентов (например, неорганических веществ). Кристаллические полимеры глюкозы в целлюлозе жестко удерживаются вместе в виде пучков волокон, что обеспечивает прочность материала. Аморфные полимеры различных сахаров в гемицеллюлозах склеивают пучки целлюлозы. Лигнин является основным связующим для волокнистых целлюлозных компонентов, обеспечивающих не только жесткость конструкции, но и защиту от быстрого разрушения целлюлозных волокон [16].

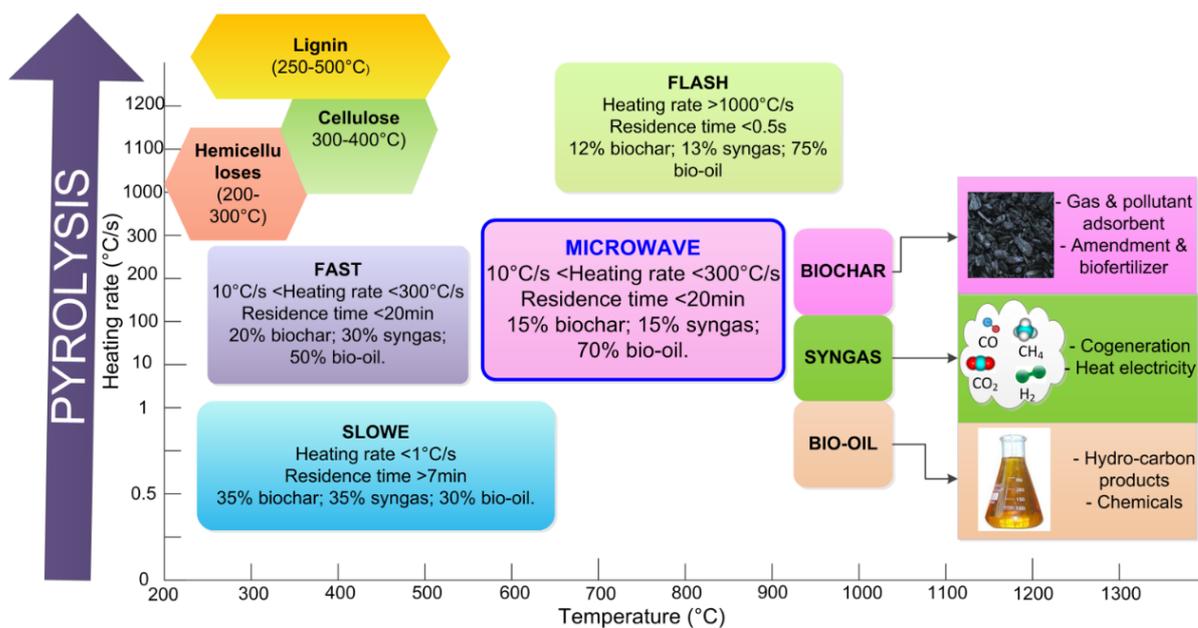


Рисунок 1 – Условия и продукты пиролиза биомассы

Термохимическая конверсия биомассы реализуется при сжигании [17, 18], газификации [18,19] и пиролизе [18,20]. Пиролиз (Рисунок 1) является перспективным вариантом конверсии биомассы без участия кислорода с получением конденсируемых летучих веществ в виде смол, неконденсируемого газа и богатого углеродом остатка в диапазоне температур 300–600 °C [21]. В данном виде конверсии теплопередача происходит за счет теплопроводности, конвекции и излучения теплоносителей или нагретых поверхностей реактора.

1.1 Обзор литературы

Процесс получения искусственного жидкого топлива и ценных химических соединений на базе не нефтяного сырья (угля, природного газа, биомассы), протекающий с участием катализаторов, содержащих переходные металлы VIII группы, в котором происходит синтез углеводородов из CO и H₂.

Получение синтез-газа для синтеза Фишера-Тропша обычно осуществляют с помощью пропускания углеводородного сырья через стадии первичного и вторичного риформинга. Первичный риформинг зачастую осуществляют в трубчатых установках парового риформинга или в установках

теплообменного риформинга, в то время как вторичный риформинг обычно осуществляют в установках автотермического риформинга [22].

Установки, использовавшиеся ранее в исследованиях процесса пиролиза биомассы и пластика:

1. *Термохимический, каталитический пиролиз на экспериментальной установке для пиролиза ореховой скорлупы.*

Одностадийный пиролиз: трубчатая печь работала при температуре 150–720 °C, скорость нагрева 10 C/мин. [23]. При двухстадийном пиролизе (каталитическом пиролизе) была установлена еще одна внешняя печь, которая работала при изотермической температуре (500 или 700°C). Катализатор Co/SiO₂. Общий расход продувочных газов – 200 мл/мин (молярное соотношение смесей продувочных газов: N₂ /CO₂ = 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 и 100/0 [16]. Объем камеры реактора – 342,1 см³ [24]. Используемое топливо: Рисовая солома (порошок менее 0,1 мкм) 1,5±0,02 г [23], ореховая скорлупа макадами 1,5±0,02 г (порошок, менее 355 мкм) [24]

На рисунке 2 предоставлена принципиальная схема экспериментальной установки для пиролиза ореховой скорлупы.

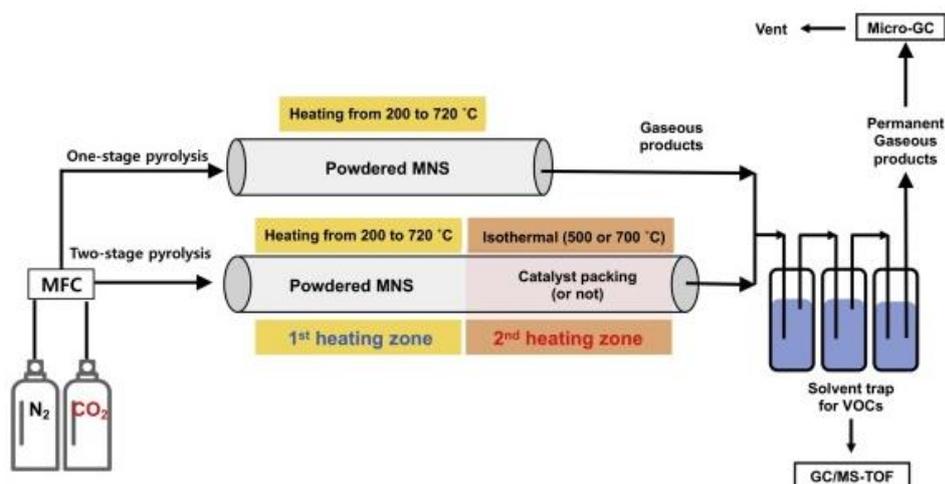


Рисунок 2 – Принципиальная схема экспериментальной установки для пиролиза ореховой скорлупы макадами (ОСМ) с использованием трубчатого реактора периодического действия (ТР) [24]

Реактор представлял собой кварцевую трубку длиной 90 см (корпус реактора), которую помещали в трубчатую печь, применяемую в качестве внешнего источника нагрева. Печь имеет две зоны нагрева, которые регулируются независимо. Для входа и выхода газа к обоим концам трубы были установлены вакуумные фитинги. Регулятор массового расхода газов применялся для установки расхода газов CO₂ и N₂. Micro-GC – установка для контроля газообразных потоков. Жидкие составляющие поступали в конденсатор (заполнен дихлорметаном), погруженный в холодную воду.

2. Термохимический пиролиз, каталитический риформинг на реакторе с неподвижным слоем.

Двухстадийный реактор с неподвижным слоем. Для продувки применяли Ar 100 мл/мин. Первая ступень – пиролизный реактор - нагрев до 700⁰ С со скоростью 10⁰С/мин, затем выдерживается в течение 2 часов. Первая стадия (реактор пиролиза)-нагрев 300-500 ⁰С. Вторая ступень – каталитический реактор (риформинг) – нагрев со скоростью 10 С/мин до температур 600-700 ⁰С. Катализатор на основе биоугля с добавлением Никеля.

Используемое топливо: древесная щепа (тополь, катальпа, сосна, вяз). На рисунке 3 предоставлена принципиальная схема системы реактора с неподвижным слоем.

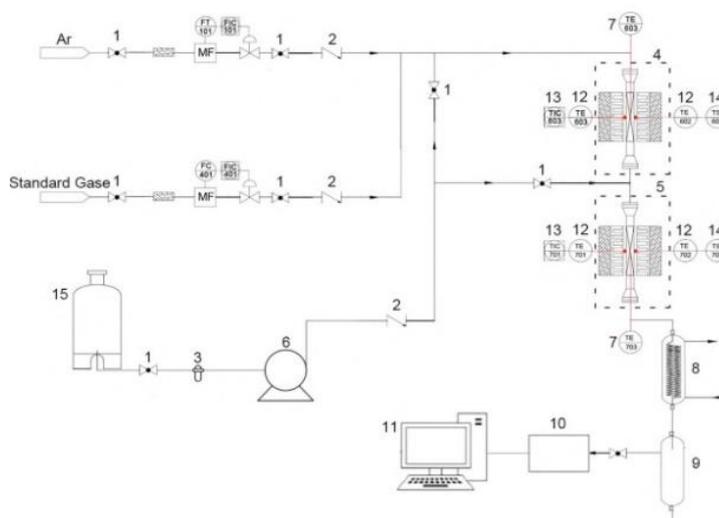


Рисунок 3 – Принципиальная схема системы реактора с неподвижным слоем [25]: 1-шаровые краны, 2-обратный клапан, 3-фильтр, 4-пиролизный реактор, 5-каталитический реактор, 6-поточные насосы, 7-термопара для измерения температуры в зоне реакции, 8-конденсаторная система, 9-газожидкостный сепаратор, 10-Онлайн-анализатор QGA, 11-Компьютер, 12-Пары измерения температуры зоны нагрева, 13-Отображение и контроль температуры, 14-Защита температурной цепи, 15-Бак для воды

3. Термохимический и каталитический пиролизы на вертикальной двухлойной установке для пиролиза и разложения пластика

Реактор имеет два слоя: верхний для пиролиза пластика и нижний для каталитического разложения. Температура каждого контролировалась и измерялась независимо.

Биметаллический катализатор, сочетающий активные металлы Fe и Ni. Два метода синтеза катализатора: золь-гель и обычную влажную пропитку (FeNi1 и FeNi2 соответственно), 0,4 г катализатора исследовали три температуры катализа: 600, 700 и 800°C. N₂ 100 мл/мин – газ-носитель. Затем взвешивали около 1 г образца пластика и помещали в верхний слой сырья, где температура повышалась от комнатной до 500 °C со скоростью 15 °C/мин. Общее время реакции для каждого эксперимента составляло около 50 минут.

Используемое топливо – полипропиленовые пластиковые гранулы размером 3 мм без какой-либо предварительной обработки.

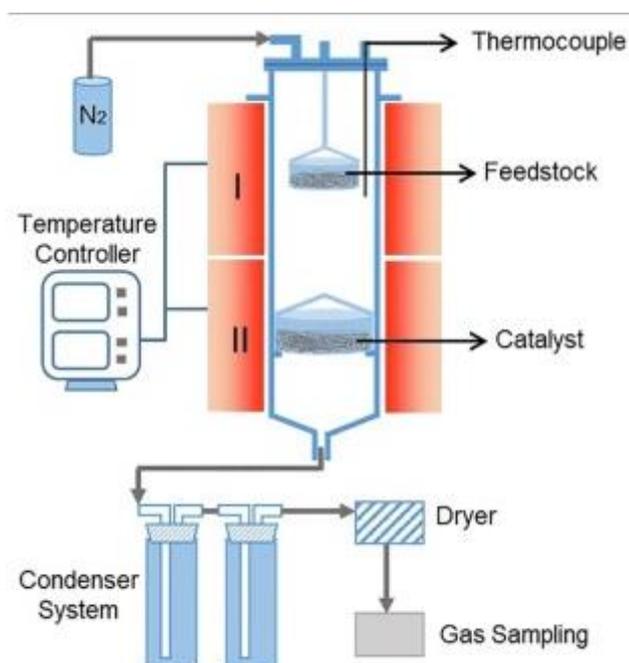


Рисунок 4 – Принципиальная схема процесса пиролиза и разложения пластика [26]

Технические характеристики элементов экспериментального стенда приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики элементов экспериментального стенда

№	Наименование	Габаритные размеры, мм			Характеристики			
		Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Диапазон задаваемых температур, °С	Погрешность воспроизведения заданной температуры, °С	Потребляемая мощность, Вт	
1,2	Печь трубчатая LF-50/500-1200	617	325	405	100... 1200	±10	2500	
3,4	Спиральный охладитель из нержавеющей стали	Диаметр, мм		Высота, мм	Площадь охлаждения, мм ²	Емкость воды, л	Вес, кг	
		180		230				178980
5, 6	Пневматический цилиндр	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Длина штока, мм		Диаметр поршня, мм	
		182	94	94	150			80
7	Газоанализатор «Тест-1»	Газ	Тип сенсора			Диапазон измерения /Погрешность		
		O ₂	Электрохимический			0-25 об.% / ±0.2 об.%		
		CO				0-40000 ppm / ±5%		
		NO				0-1000 ppm / ±5%		
		NO ₂				0-500 ppm / ±7%		
		SO ₂				0-1000 ppm / ±5%		
		H ₂ S				0-500 ppm / ±5%		
		H ₂	Полиграфический			0-5 об.% / ± 0.2 об.%		
		CO ₂	Оптический			0-30 об.% / ±2%		
	CH ₄			0-30 об.% / ±5%				

1.2 Экспериментальная методика

1.2.1 Экспериментальный стенд

Анализ приведенных работ показал, что реактор Фишера-Тропша, состоящий из двух ступеней нагрева, подходит под наши задачи, состоящие в необходимости получения пиролизного газа. Экспериментальная установка позволяет самостоятельно получить газ в первой ступени для дальнейшего реагирования с катализаторами во второй ступени. Результатом работы установки является получение биогаза, биотоплива и биоугля.

За основу проектируемой установки были взяты две муфельные печи, в которые для герметичности системы были помещены трубы с запаянными торцами. В торцы были завинчены штуцера для отбора полученного газа. Для охлаждения и конденсирования сначала влаги, а затем и биотоплива, используются теплообменники.

Данная установка является универсальной, так как в ней можно производить пиролиз следующих топлив и смесей: растительных остатков, древесины, полиэтилена, полистирола, полипропилена.

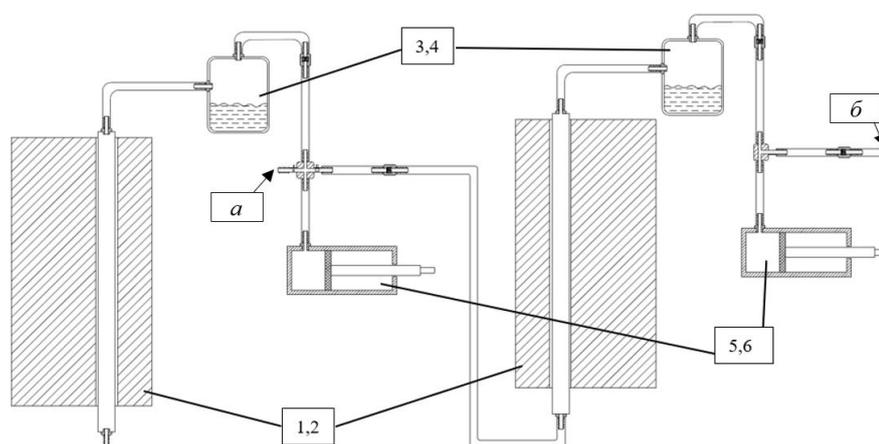


Рисунок 5 – Схема установки реактора Фишера-Тропша: 1,2 - Муфельные печи; 3,4 – теплообменники; 5,6 – Пневматические цилиндры(насосы); *a* – первый отбор газа, *б* – второй отбор газа

1.2.2 Экспериментальная методика

В начальный момент времени в муфеле 1 задается температура 600 °С. При достижении заданной температуры в муфель 1 помещается топливо на специальной подложке, которое в дальнейшем пиролизуется. Выделяется синтез-газ. Полученный газ с помощью насоса 5 откачивается, предварительно проходя через охладитель 3, где конденсируются тяжелые компоненты и вода. С помощью соединителя, который имеет четыре штуцера, осуществляется отбор газа после первой ступени, для дальнейшего анализа в газоанализаторе, щуп которого можно подсоединить к разьёму *a*. Газ, выходя из насоса 5 за счет системы обратных клапанов, попадает во вторую ступень муфельная печь 2. Температура, поддерживаемая в муфеле 2, равна 200 °С. Для забора прореагировавшего газа из муфеля 2 применяется насос 6, аналогично как в первой ступени, так и во второй газ проходит через охладитель 4, для охлаждения и конденсирования компонентов. После второй ступени газ можно отобрать из штуцера *б*. Характеристики элементов экспериментального стенда приведены в таблице 1.

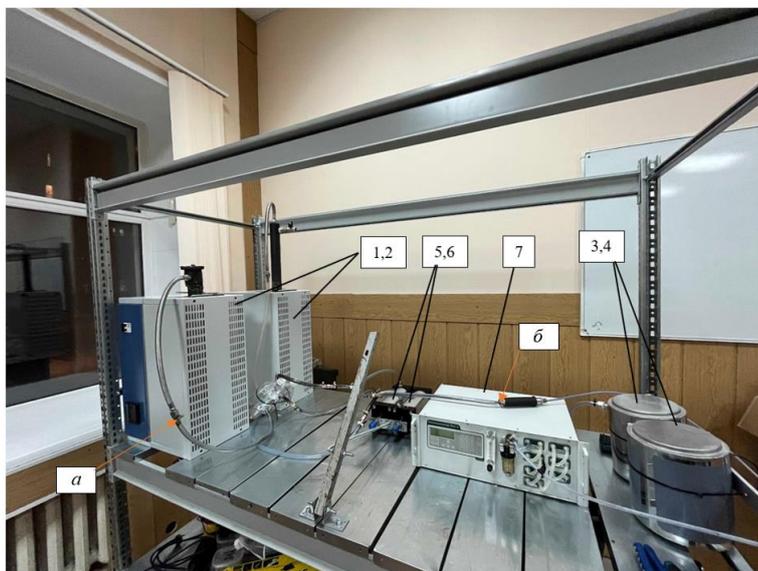


Рисунок 6 – Внешний вид реактора Фишера-Тропша: 1,2 - Муфельные печи;
3,4 – Теплообменники; 5,6 – Пневматические цилиндры(насосы); 7 –
газоанализатор

1.3 Результаты и обсуждения

1.3.1 Варьирование температуры во второй ступени

Эксперименты выполнены при постоянной температуре в первой ступени 600 °С и варьируемой температуре во второй ступени (таблица 2). Для повышения качества продуктов (снижения влажности, кислородосодержания и крекинга больших ароматических структур с образованием более мелких) пиролиза и газификации, в частности, пиролизного масла, прибегают к использованию различных добавок – катализаторов. Для протекания химической реакции генераторного газа с катализатором в реакторе необходимо поддерживать определенную температуру. Диапазон используемых температур на основе катализаторов Fe и CO приведен в. В данном разделе представлены результаты экспериментов по определению влияния температуры во второй ступени реактора Фишера-Тропша на характеристики продуктов преобразования пиролизного газа, полученного в первой ступени (до подачи катализатора во второй ректор). Результаты экспериментов приведены на рисунке 7.

Таблица 2 – Исходные и полученные данные

Температура во второй ступени, °С	Биомасса	Масса навески, гр.	Влажность навески, %	Твердый продукт, гр.	Жидкость, гр.
20	Опилки	3	3.5	0,4436	0,8664
100				0,5126	0,7457
200				0,4701	0,7922
300				0,516	0,5106

Пиковые значения концентраций достигались спустя ≈ 500 с после начала эксперимента. Можно отметить, что пиковые значения для CH_4 , CO, CO_2 и H_2 составили 9.6, 19.8, 13.75 и 1.1% соответственно. При увеличении температуры во второй точке до 100°C зарегистрирован незначительный рост концентраций CH_4 , CO, CO_2 и H_2 . В среднем, концентрации газов увеличились на ≈ 10 –20%. Пиковые значения достигались спустя ≈ 350 с после начала измерения. Увеличение температуры до 200 °С, приводит к незначительному увеличению

концентраций CO и CH₄ на ≈15–20%. Концентрации диоксида углерода выросли на 10–15%. При 300 °С, пиковые значения концентраций CO и CH₄ составили ≈21% и 11%, соответственно. Максимальное значение CO₂ составило около 14%. Значения H₂ не превышали 1.1%. Достижение максимальных концентраций достигалось спустя 370–390 с от начала эксперимента.

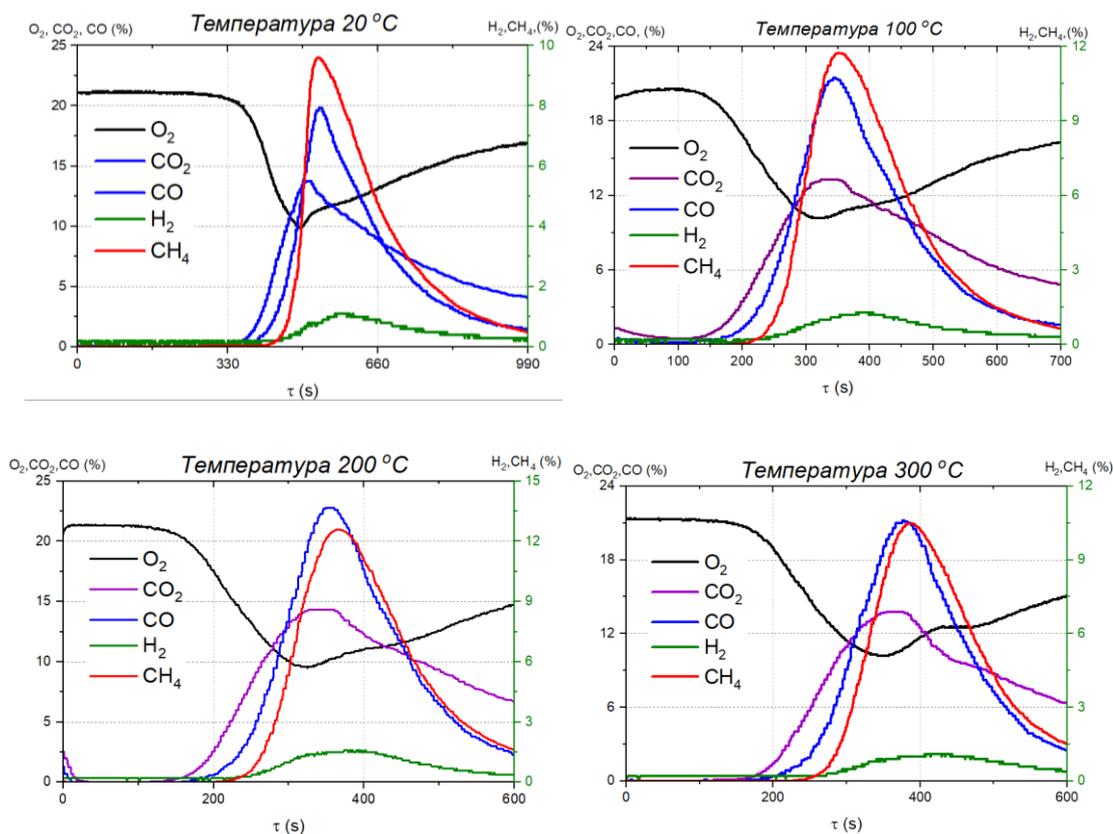


Рисунок 7 – Тренды концентраций компонентов генераторного газа при варьируемой температуре во второй ступени

На рисунке 8 представлены гистограммы средних концентраций компонентов генераторного газа. Увеличение температуры во второй муфельной печи оказывает влияние на концентрации компонентов синтез газа. Наибольшая разница в 30–40% между средними значениями для разных температур зафиксирована для таких газов как CO, CO₂, CH₄. Выбросы CO₂ варьировались в диапазоне 4.6–6.1%, CO – 4.2–6.3%, H₂ – 0.39–0.6%, CH₄ – 1.95–2.7%.

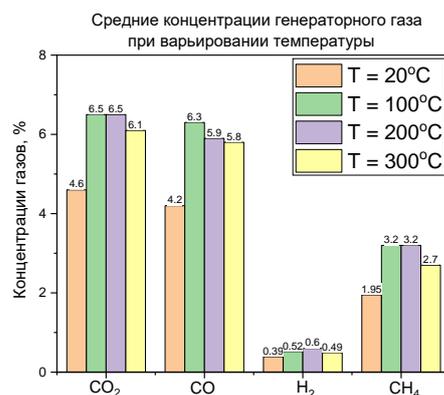


Рисунок 8 – Средние концентрации компонентов генераторного газа при варьировании температуры во второй ступени

Гистограмма с максимальными концентрациями компонентов генераторного газа представлена на рисунок 9. С увеличением температуры во второй муфельной печи наблюдается увеличение пиковых концентраций горючих газов (CO, H₂, CH₄). Данная особенность говорит о том, что температура во второй точке позволяет регулировать процесс конденсации газовых компонентов во время движения по газовому тракту. При увеличении температуры максимальные концентрации для этих газов увеличивались в диапазоне от 13 до 30%. Наибольший рост (около 30%) отмечен для H₂ от 1.1% до 1.6%. Наименьшее увеличение (на 13%) наблюдалось для CO – от 19.8% до 22.8%. Фактор увеличения температуры не оказывал значимого влияния на максимальные концентрации CO₂ – значения менялись от 13.28% до 14.32%.

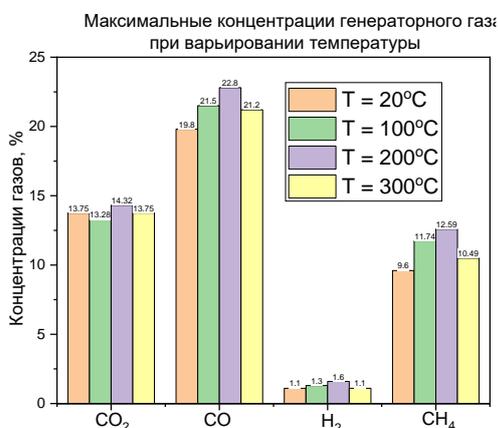


Рисунок 9 – Максимальные концентрации компонентов генераторного газа при варьировании температуры во второй ступени

Рисунок 10 показывает, что наиболее длительное время выделения компонентов соответствовало эксперименту при 20 °С, а минимальное время – при 300 °С. Увеличение температуры способствует уменьшению времени протекания реакции. Полученные результаты обусловлены ростом скорости конвективных потоков внутри второго реактора. Это обусловлено тем, что при повышении температуры увеличивается скорость газов, проходящих через тракт установки. Масса твердого остатка (рисунок 11) колеблется в пределах погрешности потому, что топливо реагирует в первой камере и варьирование температуры в диапазоне от 20 до 300 °С во втором реакторе не влияет на массовый выход твердого продукта конверсии опилок. Количество конденсируемой жидкости (рисунок 11) имеет тенденцию снижаться при увеличении температуры. Низкая температура способствует более быстрой конденсации (гидрирование газа) влаги из газа.

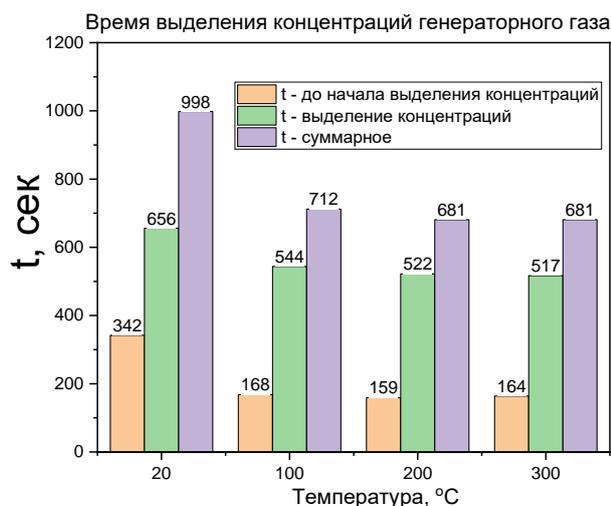


Рисунок 10 – Время выделения компонентов (данные пиролиза сырья во второй ступени)

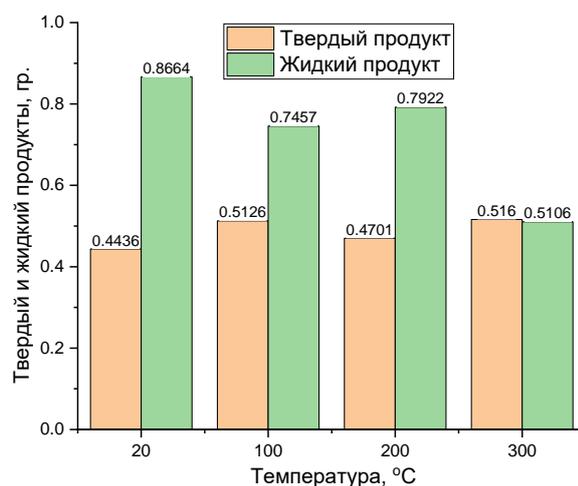


Рисунок 11 – Твердый и жидкий продукты из второй ступени синтеза

1.3.2 Влияние катализаторов на характеристики работы реактора Фишера-Тропша

Постановка задачи и мотивация исследований

Для повышения эффективности процесса пиролиза и извлечения более качественных продуктов применяются добавки - катализаторы. В реакторе Фишера-Тропша к числу продуктов относятся компоненты синтез-газа, парафины, смолы, метанол и др. Таким образом, целесообразно оценить эффективность применения катализаторов в первой и второй ступенях реактора Фишера-Тропша. В первой ступени формируется синтезированный газ вследствие пиролиза биомассы, а во второй ступени получают жидкие продукты и обогащенный синтезированный газ относительно первой ступени. Далее приведены результаты проведенных экспериментов с установленными характеристиками ключевых продуктов. В качестве катализаторов часто применяются специализированные добавки (TiO_2 , ZrO_2 , NiO , Fe_2O , ZSM-5, Beta и пр.) [27]. Нередко используются компоненты природного происхождения (яичная скорлупа, углеродный остаток и пр.) [28,29], которые могут быть как катализаторами, так и поглотителями. Интерес представляет изучение влияния природных катализаторов/поглотителей из числа побочных продуктов и отходов разных отраслей промышленности. Развиваются два направления использования катализаторов и поглотителей: управление количеством и

компонентным составом генераторного газа, получение жидких компонентов биотоплив. В таблице 3 представлен перечень наиболее перспективных природных компонентов, которые используются в технологиях пиролиза для повышения его эффективности, в частности, получения обогащенного генераторного газа.

Таблица 3 – Опыт использования катализаторов синтеза Фишера-Тропша

Катализатор	Топливо/условия	Результаты	Источник
Отработанный известковый шлам (целлюлозно-бумажная промышленность) для приготовления катализаторов на основе CaO. Ni/CaO	Ятрофа (Индия и Китай) используют для производства биодизеля). Быстрый пиролиз, 500 °С, размер частиц 150 мкм, масса 0.4 мг Соотношение биомасса: катализатор 1:1 и 1:5.	Известковый шлам прокаливали при 1000 °С для получения активной фазы (CaO). Затем добавляли 5 мас.% Fe или Ni (в виде нитратов) перед прокаливанием для получения катализаторов Fe/CaO или Ni/CaO. Получено, что катализаторы полностью удаляют тяжелые соединения, такие как жирные кислоты и сахара, и значительно снижают содержание N-содержащих соединений. Они увеличивали образование алифатических углеводородов, увеличивая при этом некоторые нежелательные продукты, в том числе кетоны, альдегиды и другие оксигенаты. Соотношение биомасса: катализатор 1:5 оказалось более оптимальным, чем соотношение 1:1.	[27]
Карбонат кальция (CaCO ₃)	Биоматериал из конюшни Пиролиз, 270-780 °С, размер частиц 355 мкм, масса 2 г, среда N ₂ , CO ₂	CaCO ₃ источник CO ₂ и CaO, обеспечивающих синергетические экологические преимущества во время пиролиза биомассы. CO ₂ способствовал как термическому крекингу, так и риформингу паров с образованием CO, что привело к повышенному образованию синтез-газа и снижению содержания смолы. CaO способствовал удалению кислорода из-за его сильной	[31]

		основности, устраняя карбоновые кислоты и фенолы из продуктов, при незначительном увеличении алкенов.	
Яичная скорлупа	Древесина Газификация 50-1000 °С (скорость нагревания 10 °С/мин) в частично кислородной среде (5% O ₂), размер частиц 355 мкм, масса 2 г, среда N ₂ , CO ₂	Яичную скорлупу (250 мкм) прокалили при 900°С в течение 2 часов, и полученный таким образом катализатор обладал кубической структурой, подобной чистому СаО. Выход водорода увеличивался при использовании катализатора (20%, 40% и 60%) с 57 до 73%, соответственно. Добавление отработанной яичной скорлупы усиливало каталитическую активность и подавляло образование СО ₂ за счет способности поглощать СаО, что индуцировало реакцию конверсии водяного газа, которая способствует образованию Н ₂ при более низкой температуре	[29,32,33]
Углеродный остаток рисовой шелухи	Рисовая шелуха Пиролиз, 600 °С, 20 мин, масса 75 г (50 г - рисовой шелухи, 15 г - катализатор), среда N ₂	Углеродный остаток рисовой шелухи (RHC) готовили методом микроволнового пиролиза при мощности 700 Вт в атмосфере N ₂ в течение 20 мин. 20 г углеродного остатка пропитывали 0,04 моль Ni(NO ₃) ₂ , Fe(NO ₃) ₃ или Cu(NO ₃) ₂ . Затем обугленную рисовую шелуху, содержащую частицы металлов, нагревали в микроволновом реакторе пиролиза в течение 20 мин при мощности микроволн 800 Вт в атмосфере инертного газа (N ₂). Обнаружено, что как углеродный остаток рисовой шелухи, так и три металлических катализатора, нанесенных на него, улучшают способность поглощения микроволн и повышают скорость нагрева и конечную температуру. Катализатор Ni, нанесенный на углеродный остаток рисовой шелухи,	[30]

		показал наиболее эффективное воздействие на производство газа. Например, выход газа составил 53.9%, а объемная концентрация целевого синтез-газа равнялась 69.96%.	
Природный цеолит (клиноптилолит), бентонит	Просо Пиролиз, 400 °С, 10 мин, среда N ₂ , 20 г проса, смешанного с различной долей (10, 20 и 30wt.%) природного цеолита (клиноптилолита) или бентонита	K ₃ PO ₄ , клиноптилолит и бентонит показали хорошую каталитическую активность в пиролизе с помощью микроволнового излучения, что привело к снижению выхода бионефти ее кислотности, вязкости и содержания воды в продукте. Доля катализатора и комбинация различных видов влияют на скорость нагрева и качество продукта. Смешивание 10 wt.% K ₃ PO ₄ с 10 wt.% клиноптилолита значительно (на 39.5%) снизило содержание воды в бионефти; при этом рН бионефти увеличился на 43% по сравнению с 10 % только клиноптилолита, демонстрируя потенциальный синергетический эффект каталитических смесей.	[33]

Результаты экспериментов по определению влияния типа поглотителя/катализатора на состав генераторного газа

Проведенные эксперименты показали, что из изученных катализаторов наиболее эффективным является известняк (рисунки 12, 13). При его использовании доля полученного СО максимальна и составила 52%. При добавлении кальция увеличивался выход Н₂ и СО и снижались концентрации СО₂ и СН₄. При достаточной температуре СО₂ абсорбируется и в итоге получается сорбент СаСО₃. Недостаточная температура приводит к десорбции СаСО₃ до оксида кальция СаО. В этом случае СаО играет роль сорбента и катализатора, что дает дополнительный выход Н₂.

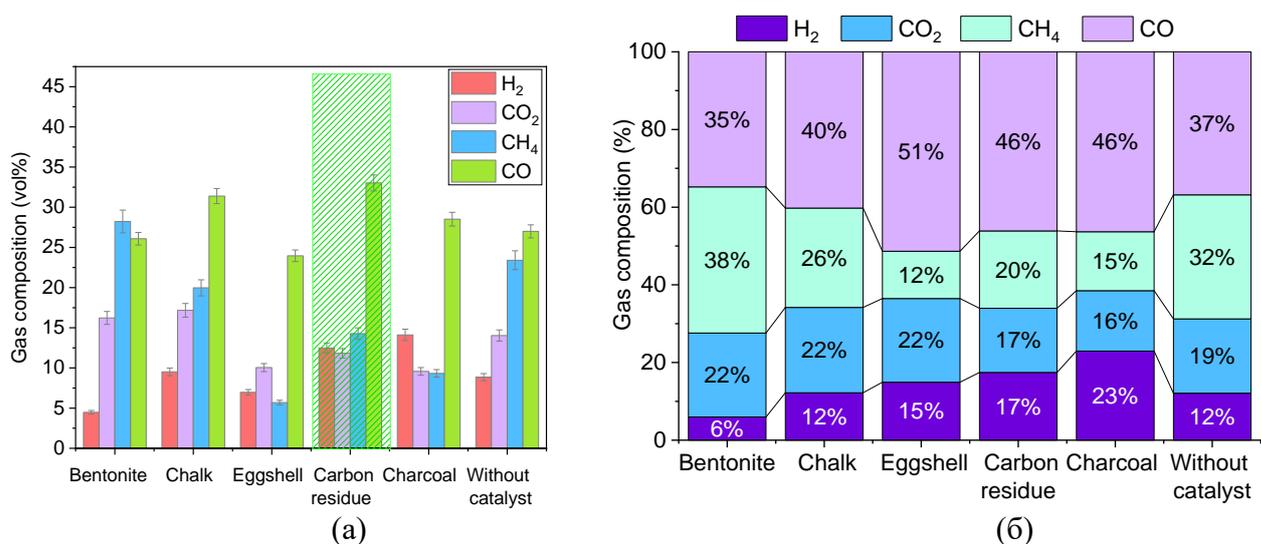


Рисунок 12 – Концентрации газов (а) и их соотношение (б) в составе газовой смеси при варьировании типа катализатора (размер частиц 800 мкм, топливо – сосновые опилки)

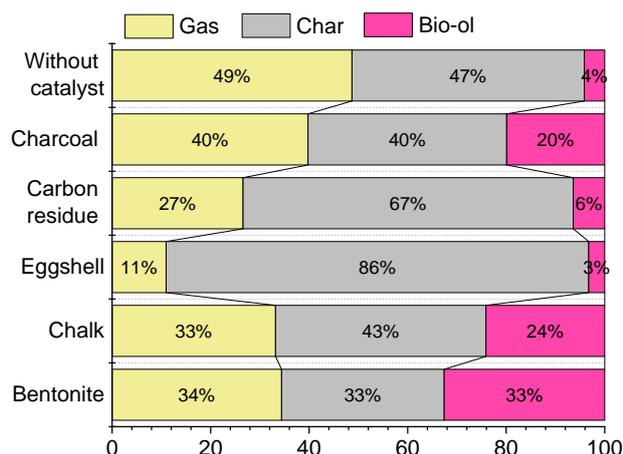


Рисунок 13 – Выход продуктов микроволнового пиролиза при варьировании типа катализатора (размер частиц 800 мкм, поглотитель – водопроводная вода)

В процессе пиролиза вода играет важную роль в протекании реакций. Молекулы под действием микроволн начинают хаотичное движение и соударяются, тем самым высвобождая тепловую энергию. Варьирование качества воды показало (рисунки 14, 15), что использование дистиллированной воды повышает выход H₂ на 2% относительно состава с водопроводной водой, значение метана CH₄ на 10%. Рисунок 15 показывает, что высокое значение твердого остатка равного 72% и 56% для технической и водопроводной воды,

соответственно, обусловлено их химическим составом, различными минеральными солями и органическими примесями. Применение дистиллированной воды привело к снижению выхода твердого остатка (29%), так как она очищена от вышеперечисленных примесей.

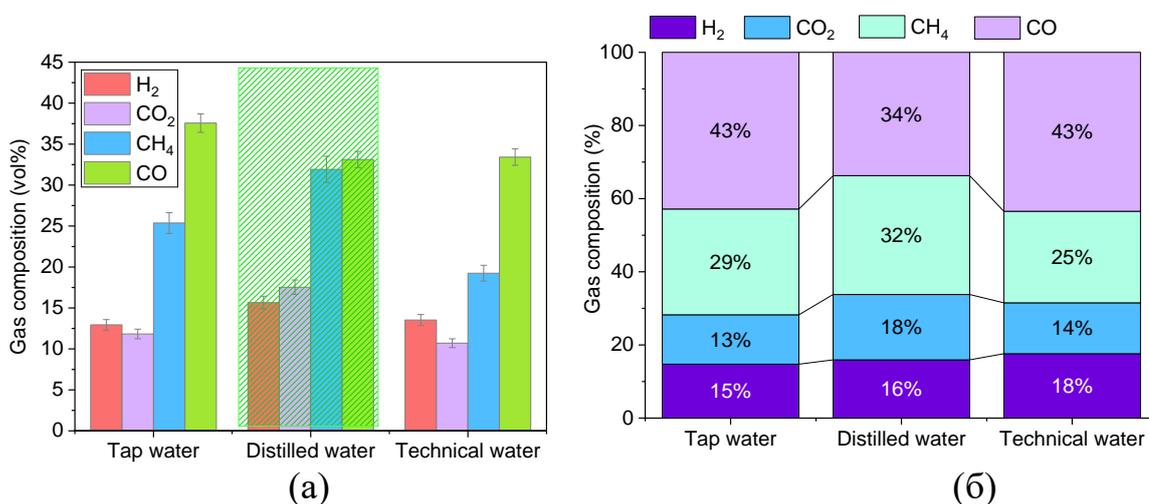


Рисунок 14 – концентрации газов (а) и их соотношение (б) в составе газовой смеси при варьировании качества используемой в качестве поглотителя воды (размер частиц 800 мкм, топливо – сосновые опилки)

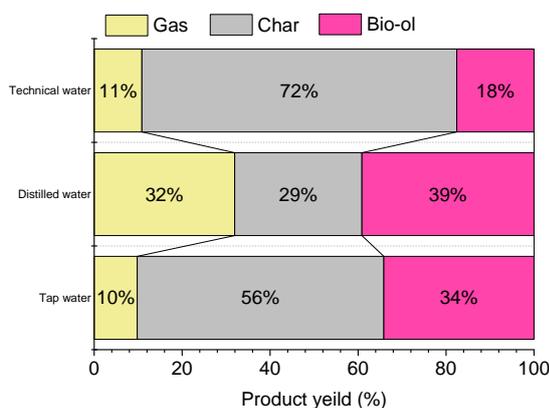


Рисунок 15 – Выход продуктов микроволнового пиролиза при варьировании качества воды (размер частиц 800 мкм, топливо – сосновые опилки)

Результаты экспериментов по определению влияния типа поглотителя/катализатора на компоненты жидкого биотоплива

Синтез Фишера-Тропша включает гидрирование CO на гетерогенном катализаторе в основном для получения линейных алканов и алкенов.

Катализаторы на основе Fe и CO нашли промышленное применение [34]. При работе кобальтовых катализаторов практически весь кислород от диссоциации CO конденсируется в виде жидкости. В случае же с железными катализаторами значительная часть кислорода от диссоциации CO получается в виде CO₂. Схематическое изображение кобальтового катализатора на носителе приведено на рисунке 16.

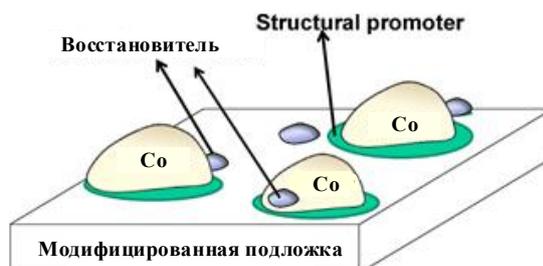


Рисунок 16 – Схематическое изображение кобальтового катализатора на носителе для синтеза Фишера-Тропша в суспензионной фазе, содержащего модифицированный носитель, кобальт и промотор восстановления благородного металла

Из-за дороговизны часто интенсифицируются условия диспергирования кобальтовых катализаторов на подготовленном носителе. В качестве носителей выступают оксид алюминия, диоксид титана или диоксид кремния. За счет этого получают большую площадь поверхности металла. Железо чаще используется в качестве катализатора в синтезе Фишера-Тропша. Такие катализаторы в основном содержат 60% Fe, а второй металл Cu добавляет в качестве восстановителя. Примеры приготовления катализатора приведены в [9]. Оксиды железа не активны для синтеза, и для получения активной формы катализатора требуется стадия активации. Металлическое железо не стабильно в присутствии CO при типичных температурах реакции Фишера-Тропша и легко превращается в карбид железа при активации или синтезе Фишера-Тропша. Схематическое изображение железного катализатора показано на рисунке 17.

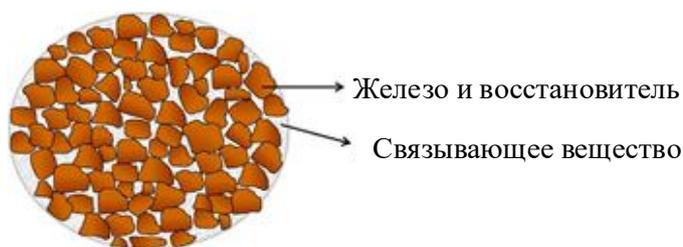


Рисунок 17 – Схематическое изображение сыпучего железного катализатора для применения в суспензионной фазе с коричневыми частицами, представляющими первичные кристаллиты железа

С учетом обобщения результатов анализа современных достижений в области совершенствования реакторов Фишера-Тропша построена карта на рисунке 18 и сводная таблица 4. На рисунке 19 показана перспективная схема для интенсификации синтеза Фишера-Тропша в реакторах с получением газообразного и жидкого продуктов.

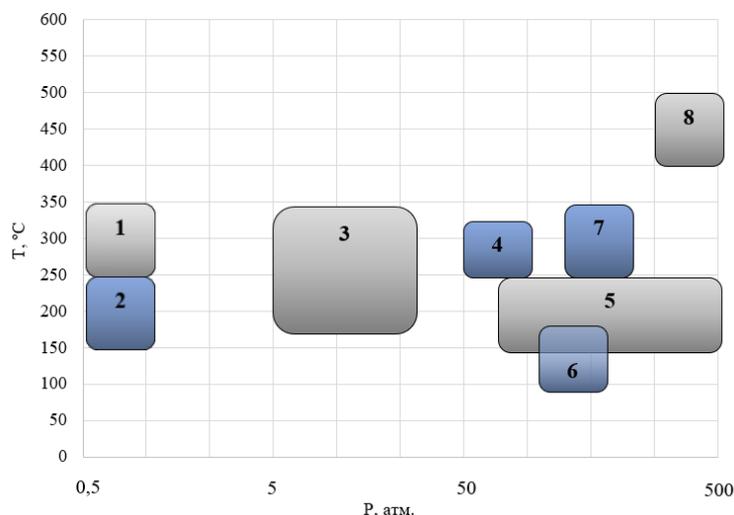


Рисунок 18 – Карта получения продуктов синтеза Фишера-Тропша при варьировании давления и температуры в реакторе на основе реакций монооксида углерода и водорода с образованием углеводородов и кислородсодержащих продуктов: 1– Метан (Ni, Co), 2 – Парафины, олифины (Ni, Co, Fe) 3 – Олефины, парафины, спирты (Co, Fe), 4 – Метанол (Cu) 5 – Высокомолекулярные парафины (Ru) 6 – ОКСО альдегидов (Co, Fe) 7 – Метанол (ZnO-Cr₂O₃) 8 – Изопарафинов.

Таблица 4 – Условия синтеза Фишера-Тропша с катализаторами

Катализатор	Реактор	Температура, °С	Давление, бар	H ₂ /CO	CO, %
Fe-Mn	Шламный реактор с мешалкой	260-300	15-31	0.65-2	91-95
Fe-Mn	Шламный реактор с мешалкой	260-290	9.3-25.3	0.8-2.5	60-80
Fe-Mn	Реактор с неподвижным слоем	280-340	22.5	1.01-2.74	64-88
Fe-Mn-K/SiO ₂	Шламный реактор	250	15	1.35-1.5	59-74
Fe-Mn-Cu-K/SiO ₂	Шламный реактор	250	15	1.354-5	62-76
Co-Ru/Al ₂ O ₃	Шламный реактор с мешалкой	210-240	20-35	1-2.5	-
Co-Ru/Al ₂ O ₃	Реактор с неподвижным слоем	210-240	25	0.5-2	-
Co-Re/Al ₂ O ₃	Реактор с неподвижным слоем	210	20	2.1	40-50
Co-Rt/Al ₂ O ₃	Шламный реактор	230	20	2	61.3

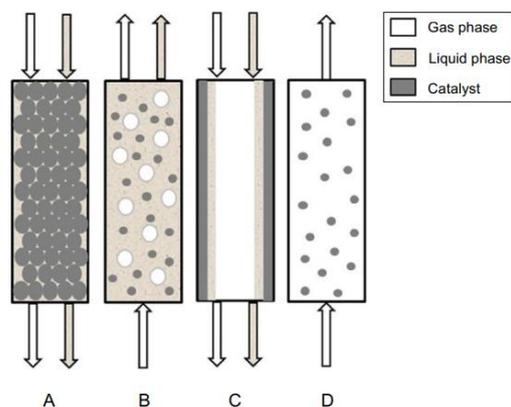
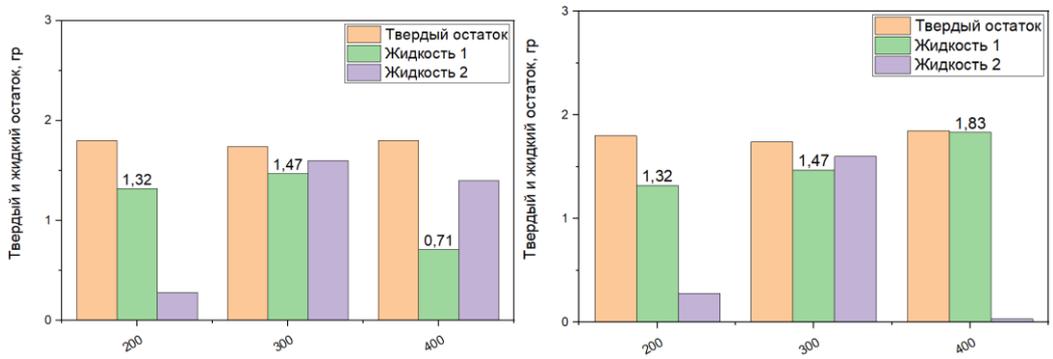
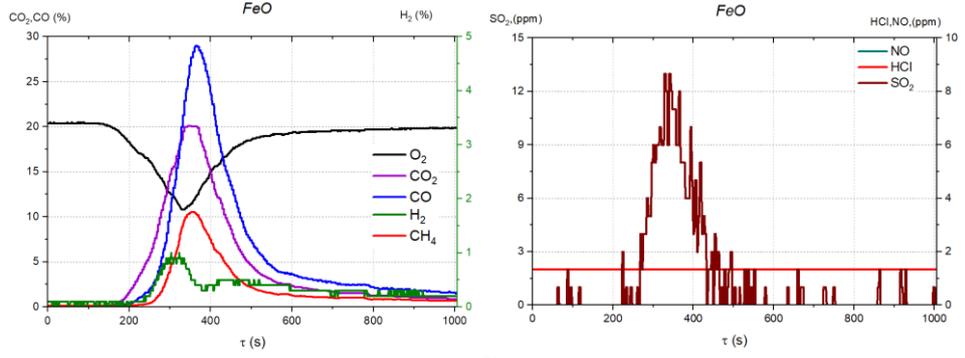


Рисунок 19 – Принцип работы реакторов Фишера-Тропша: А - реактор с неподвижным слоем; В - шламовый реактор; С - микроканальный реактор; D - псевдооживленный реактор

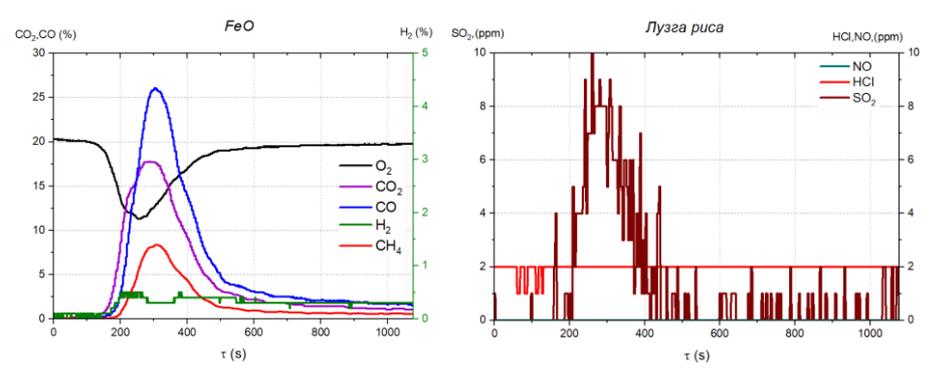
Первичные результаты исследования влияния катализаторов на характеристики синтеза Фишера-Тропша приведены на рисунках 20 и 21. Обобщенные данные сведены в таблице 5.



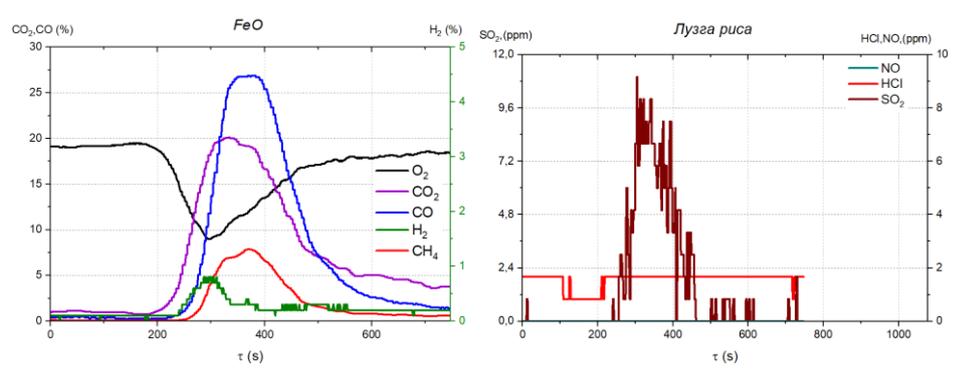
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 20 – Выход жидких и твердых продуктов при использовании катализатора FeO:

а – масса жидких и твердых продуктов, б – состав газов при T=200 °C, в - состав газов при T=300 °C, г - состав газов при T=400 °C

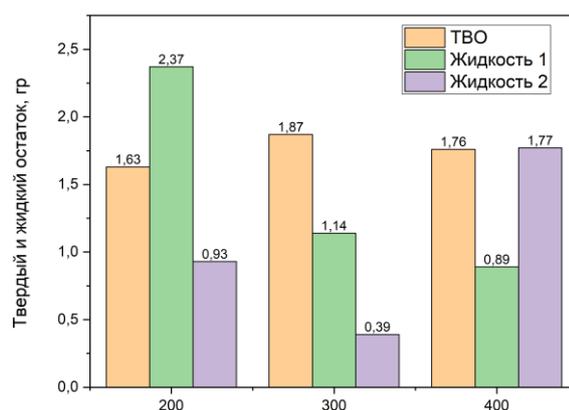


Рисунок 21 – Выход жидких и твердых продуктов при использовании катализатора CuO

Таблица 5 – Результаты выполненных экспериментов по изучению влияния катализаторов на характеристики синтезированного газа и компонентов биотоплива при пиролизе опилок

Катализатор	Масса навески, гр	Масса катализатора, гр	T ₁ , °C	T ₂ , °C	Масса твердого продукта, гр	Масса жидкого продукта, гр	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	Временная задержка до выделения газов	Время выделения синтезированного газа	Общая длительность синтеза
-	10	-	600	250	1,949	1,587	0,7	8,1	33,1	22,73	283	1196	1502
FeO	10	2	600	250	1,914	2,265	1,9	26,68	59,6	34,04	205	953	1158
CuO	10	2	600	250	1,931	1,731	1,2	10,01	28,9	22,17	198	1233	1431
Fe	10	5	600	250	1,489	2,527	1,3	14,26	32	23,7	197	1066	1263
FeO+CuO	10	2+2	600	250	1,921	1,524	1,3	9,7	31,4	22,68	138	1062	1200
H ₂ SO ₄	6	2	600	250	1,317	3,346	1,4	2,9	9,2	9,39	58	2342	2400
H ₂ SO ₄	6	2 + 4	600	250	1,192	3,647	2,7	0,48	11,9	10,61	136	951	1087

Данные таблицы 5 позволили сформулировать несколько ключевых выводов:

1. Наибольшее влияние на интенсификацию выхода продуктов пиролиза оказало добавление катализатора FeO. Зарегистрировано повышение концентраций основных компонентов синтезированного газа относительно опытов с воздухом: H₂ – в 3 раза, CH₄ – 3.5 раза, CO – в 1.5 раза. При этом

процесс интенсивного пиролиза начинался раньше и завершился на 30% быстрее по суммарному времени. Масса жидкого продукта синтеза увеличилась в 1,5 раза. Катализатор добавлялся во вторую трубку, в которую поступал синтез-газ из первой трубки (ступени). Данный катализатор усиливал реакции, приводящие к росту концентрации H_2 , CH_4 , CO . Так как концентрация CO_2 поменялась незначительно относительно опытов без катализатора, а масса жидкого продукта возросла, то можно сделать вывод об интенсивном гидрировании CO . В соответствии с картой на рис. 7 и табл. 2 можно сделать вывод о том, что повысилась доля парафинов и олифинов.

2. Также значительный прирост концентраций синтез-газа зарегистрирован в опытах с катализатором Fe - в 2 раза увеличились концентрации H_2 и CH_4 , а объем жидкости увеличился в 1.5 раза. Концентрации CO практически не изменились. Это связано с тем, что кислород активно вытеснялся продуктами термического разложения. В катализаторе он отсутствовал.

3. Применение катализатора CuO привело к менее существенным изменениям характеристик синтеза Фишера-Тропша. В 1,5 раза увеличились концентрации H_2 и CH_4 , а объем жидкости увеличился в 1,2 раза. Этот результат иллюстрирует меньшую активность Cu по сравнению с Fe в качестве катализатора.

4. Применение смеси катализаторов ($FeO+CuO$) позволило получить неаддитивные изменения концентраций продуктов синтеза. Предполагалось, что при добавлении двух катализаторов в равных долях приведет к получению некоторых средних значений массы и концентраций продуктов относительно опытов с каждым катализатором в отдельности. Но результаты показали, что смешивание FeO и CuO не рационально. Менее активный CuO ограничивает влияние FeO , так как снижается площадь активированной поверхности порошка FeO (гранулы порошка перемешаны с CuO). Для повышения эффективности синтеза рационально использовать один катализатор

(потенциально можно дополнительно использовать поглотители для управления совокупностью характеристик).

5. Применение катализатора H_2SO_4 позволяет интенсифицировать синтез на ранней стадии как в первой, так и во второй ступенях реактора Фишера-Тропша, а также существенно увеличить его продолжительность с ограниченными по амплитуде значениями основных газовых продуктов. При этом масса жидкого продукта синтеза в 3 раза возросла относительно опытов без катализатора.

6. Установленные значения ключевых характеристик термического разложения биомассы в реакторе, а также получения жидких компонентов биотоплив позволили сформировать базу для развития физических и математических моделей. Это крайне важно, так как с применением адекватных моделей можно изучать условия протекания всех стадий синтеза в недоступных для экспериментов, но перспективных на практике масштабах и диапазонах варьирования ключевых входных параметров. Данные модели и полученные с их использованием теоретические значения ключевых характеристик приведены далее в отчете по проекту.

2. Проектирование АСУ ТП экспериментального стенда Фишера-Тропша

2.1 Системный анализ объекта автоматизации

В качестве объекта автоматизации в данной работе выбран лабораторный стенд, предназначенный для изучения процесса пиролиза композиционной биомассы.

Процесс работы лабораторной установки заключается в нескольких этапах. На первом этапе в первую ступень подается биотопливо с предварительно прогретой ступенью до 600 °С. Биотопливо попадает на решетчатую поверхность, находящуюся в центре реактора. Под действием высоких температур основные компоненты биотоплива, целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин, начинают распадаться, образуя синтез-газ.

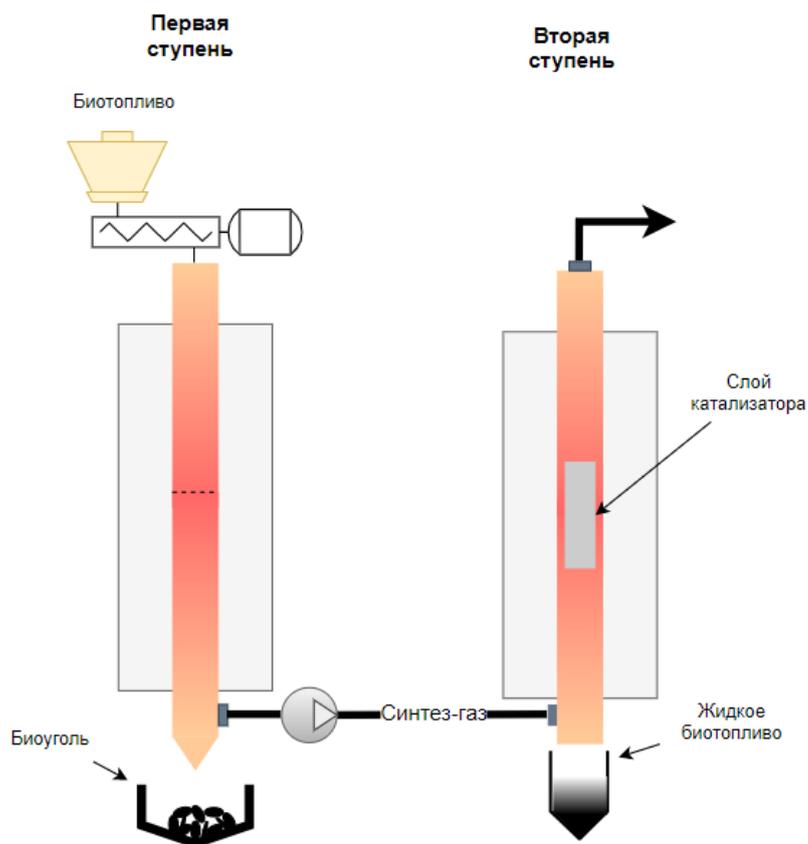


Рисунок 22 – Схема разрабатываемой АСУ ТП

Второй этап заключается в подаче синтез-газа из первого реактора посредством компрессора во вторую ступень.

Датчики температуры установлены в характерных точках контроля исследуемых параметров. Измеряется температура поверхности в первом реакторе и во втором. На выходе из второго реактора установлен газоанализатор, для контроля CO₂. Контроль необходим для понимания, какое количество синтез-газа прореагировало во втором реакторе с катализатором.

В таблице 6 приведены средства контроля и сигнализации, которыми оснащен стенд. При достижении предельно допустимых рабочих значений контролируемых и регулируемых параметров срабатывает сигнализация.

Таблица 6 – Объем оснащения лабораторного стенда средствами контроля и сигнализации

Параметр, состояние, положение	Форма представления информации			
	Постоянно	По требованию	Сигнализация	Регистрация
Температура поверхности первого реактора	+			+
Температура поверхности второго реактора	+			+
Количество CO ₂ в уходящих газах	+			+
Количество CO в уходящих газах	+			+
Мощность нагревательного элемента 1	+			
Мощность нагревательного элемента 2	+			
Положение регулирующего клапана 1	+			
Положение регулирующего клапана 2	+			
Положение регулирующего клапана 3	+			

Разрабатываемая схема необходима для контроля и управления процессом пиролиза композиционного биотоплива в реакторе Фишера-Тропша.

2.2 Разработка структуры КТС автоматизированной системы управления

В разрабатываемой системе в качестве регулирующего устройства предлагается использовать многоканальный программируемый логический контроллер (ПЛК). Программируемый логический контроллер исключает использование блока ручного управления, задатчиков регулируемых параметров, стабилизирующего и корректирующего регуляторов, т.к. их функции может выполнять непосредственно контроллер.

Структурная схема разрабатываемой АСУ ТП представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.001 С1.

В данной системе с помощью датчика температуры в первом реакторе и во втором реакторах происходит регулирование температуры поверхности реакторов. Данные с датчиков температуры передаются непосредственно на ПЛК. ПЛК обрабатывает поступающие сигналы при измерении температуры в реакторах, вырабатывает управляющие воздействия, которые отправляет на электрические нагреватели НГ1 и НГ2, тем самым нагревая поверхности реакторов. С помощью пусковых устройств ПУ1, ПУ2 и ПУ3 производится запуск исполнительных механизмов ИМ1, ИМ2 и ИМ3. Валы каждого из исполнительных механизмов вращаются и изменяют положение регулирующих органов РО1, РО2 и РО3, тем самым изменяя расход уходящих газов.

Сигналы с ПЛК подаются на автоматизированное рабочее место АРМ, что позволяет оператору получать сведения о технологическом процессе, дистанционно управлять им, выявлять неполадки в работе оборудования и вести документацию.

2.3 Разработка функциональной схемы системы управления

Функциональная схема разрабатываемой АСУ ТП представлена листе с шифром ФЮРА.421000.001 С2.

На технологической схеме определяются измерительные каналы 1...4, 8, 11, 13 и каналы управления 5, 6, 7, 9, 10, 12, 14. Измерительные каналы 1, 2

формируют сигналы о величине температуре поверхности взаимодействия и температуры окружающей среды в рабочей зоне соответственно.

Измерительный канал 3 формирует сигнал и величину расхода выходящих газов соответственно.

Измерительный канал 4 формирует сигнал о процентной концентрации CO_2 и CO в уходящих газах.

Измерительные каналы 8, 11, 13 формируют сигналы о положениях выходного вала исполнительных механизмов, с помощью которых регулируется расход выходящих газов, пара и биотоплива соответственно.

Каналы управления 7, 12, 10 формируют управляющее воздействие для изменения положения задвижек. Каналы управления 6, 5 формируют управляющее воздействие для включения и выключения электрических нагревателей.

2.4 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации

2.4.1 Выбор технических средств измерения температуры

В разрабатываемой АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы регистрируется температура поверхности в реакторе и газогенераторе.

Главными требованиями для датчиков, используемых для измерения температуры поверхности, являются диапазон измерения и надежность. Требуемый диапазон измерений температуры $0 \dots 1200$ °С. Рассмотрим модели наиболее популярных производителей термопреобразователей. Характеристики преобразователей температуры приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики преобразователей температуры

Сравнительные характеристики	Метран-288 [37]	ТСП «Элемер» ТПУ-205 [36]
НСХ	N	K
Протокол обмена данными/выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА
Диапазон преобразуемых температур, °С	-50...+1200	-50...+1300
Предел допускаемой основной приведенной погрешности, ±γ, %	0,3; 1,0	0,5
Степень защиты по ГОСТ 14254	IP65	IP65
Виды исполнений по взрывозащите	Exd, Exia	Exd, Exia

Исходя из таблицы 7 был выбран термопреобразователь ТХАУ Метран-288, так как его диапазон измерения наиболее соответствует требованиям, а также предел основной приведенной погрешности меньше, что является преимуществом.

2.4.2 Выбор технических средств измерения расхода

Главными требованиями для датчиков, используемых для измерения расхода уходящих газов, является диапазон измерения и надежность. Требуемый диапазон измерений расхода уходящих газов 0...3 м³. Рассмотрим модели наиболее популярных производителей термопреобразователей. Характеристики преобразователей температуры приведены в таблице 2.

Технические характеристики расходомеров воздуха приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики расходомеров

Сравнительные характеристики	Метран-305 ПР-50/50-25-1,0 [38]	Rosemount 8800D [39]	Аквилон-710[40]
Максимальное рабочее давление измеряемой среды, МПа	25	3,45	1,6

Продолжение таблицы 8

Температура окружающего воздуха, °С	-60...+70	-50...+85	-40...+150
Протокол обмена данными/выходной сигнал	HART/4...20 мА	HART/4...20 мА/ Foundation Fieldbus	HART/4...20 мА
Верхний предел измерения, м ³ /ч	50	134	3,5
Предел допускаемой основной приведенной погрешности, ±γ, %	1,0	1,5	1,5
Степень защиты по ГОСТ 14254	IP65, IP67	IP66	IP65
Виды исполнений по взрывозащите	Ex	Exia	Ex

Исходя из таблицы 8 был выбран датчик Метран-305 ПР-50/50-25-1,0, имеющий подходящие эксплуатационные характеристики.

2.4.3 Выбор газоанализатора

Главными требованиями для газоанализатора, используемого для измерения концентраций CO₂ и CO, являются диапазон измерения и надежность. Требуемый диапазон измерений концентраций - CO₂=15%, CO=25%. Рассмотрим модели наиболее популярных производителей термопреобразователей. Характеристики преобразователей температуры приведены в таблице 2.

Технические характеристики газоанализаторов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики газоанализаторов

Сравнительные характеристики	АКВТ-02 [41]	АНГОР-С [42]	ИКТС-11 [43]
Температура анализируемой среды, °С	0...+950	0...+1000	0...+800
Температура окружающего воздуха, °С	-35...+70	0...+70	+5...+50
Протокол обмена данными/выходной сигнал	HART/Modbus RTU/4...20 мА	Modbus RTU/4...20 мА	RS-485/4...20 мА

Продолжение таблицы 8

Диапазон измерения, % об.д.	0...21,0	0...25	0...5; 5...21
Предел допускаемой основной приведенной погрешности, $\pm\gamma$, %	0,04	0,1	0,125
Степень защиты по ГОСТ 14254	IP54	IP54	IP54
Измеряемые газы и диапазоны измерений	O ₂ – 23% CO ₂ -15% SO ₂ – 1 г/м ³	O ₂ – 25% CO – 2500 ppm NO – 1500 ppm	CO – 257-2850 ppm CO ₂ – 30% NO – 238-1587 ppm SO ₂ – 188-1880 ppm
Виды исполнений по взрывозащите	Exd	Ex	Eex

Остановим выбор на датчике ИКТС-11, так как его характеристики соответствуют предъявляемым требованиям. Немаловажным является то, что данный газоанализатор может измерять как CO₂, так и CO, что значительно упростит монтаж и эксплуатацию оборудования.

2.4.4 Выбор исполнительного механизма

Однооборотные (или неполноповоротные) электроприводы МЭО, МЭОФ предназначены для приведения в действие запорно-регулирующей арматуры в системах автоматического регулирования технологическими процессами в соответствии с командными сигналами регулирующих и управляющих устройств.

МЭО(Ф)-6,3-Е-7 однооборотный электропривод с интеллектуальным блоком КИМ1 крутящий момент которого равен 6,3 Н·м. Имеет уровень пылевлагозащиты IP54. Данный однооборотный электропривод будет установлен на шиберы подачи воздуха [44].

Напряжение питания (частота): 220 В (50 Гц).

Присоединительные размеры: по ГОСТ Р 55510-2013 или по заказу.

Маркировка взрывозащиты: 1Ex d IIC T4 Gb или 1Ex d IIB T4 Gb.

ПХТ4 – код подгруппы взрывозащищенного оборудования ПСТ или ПВТ температурного класса Т4. Основные технические характеристики приведены в таблице 10 [44].

Таблица 10 – Технические характеристики исполнительного механизма «МЭО(Ф)-6,3-Е-07»

Ном. Крутящий момент, Нм	Макс. Момент включения, Нм	Ном. Время полного хода, с	Ном. Полный ход, с	Ном. Потреб. Мощность, Вт	Масса, кг
6,3	950	10; 25; 63; 160	10; 25	60	8

2.4.5 Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства используется контроллер. В данной работе рассматривались три контроллера от различных производителей: Элси-ТМК («Элеси») [45], ПЛК-73 («Овен») [46] и SIMATIC S7-200 («Siemens») [47]. В таблице 8 приведены основные технические характеристики контроллеров.

Существует необходимость подключения 16 аналоговых и 3 дискретных входов, также значительного количества аналоговых и дискретных.

Программируемый логический контроллер Элси-ТМК имеет в своем составе набор необходимых модулей:

- модуль питания TP 712 024 DC;
- модуль центрального процессора TC 711 A8-100 2ETH;
- модуль вывода аналоговых сигналов TA 714 80 DC;
- модуль ввода аналоговых сигналов TA 716 8I DC;
- модуль вывода дискретных сигналов TD 712 320 024 DC.

Выбранные технические средства, необходимые для реализации проектируемой системы, приведены в заказной спецификации, представленной на листе с шифром ФЮРА.421000.001. СО1.

2.5 Разработка принципиальной электрической схемы шкафа автоматизации

Электрическая схема АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.001 Э4. Перечень элементов электрической схемы представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.001 ПЭ1.

На листе 1 с шифром ФЮРА.421000.001 Э4 представлена электрическая схема подсистемы электрического питания и микроклимата щита управления.

Подсистема электрического питания включает в себя:

- автоматические выключатели (QF1...QF3), предназначенные для защиты разделительных и групповых цепей;
- щитовая розетка (XS1), предназначенная для подключения электрического инструмента малой мощности во время профилактических и ремонтных работ;
- блоки зажимов (ХТ1...ХТ3), предназначенные для соединения кабелей;
- устройство защиты от перенапряжений (Z1), предназначенное для защиты устройств от перенапряжений при протекании через сеть импульсов тока;
- модуль питания (G1), предназначенный для обеспечения устройств напряжением 24 В.

Подсистема электрического питания обеспечивает питание всех элементов щита управления и имеет защиту от перенапряжений.

Подсистема микроклимата включает в себя:

- концевой выключатель (SQ1), предназначенный для замыкания и размыкания рабочей цепи;
- осветительный прибор (EL1), предназначенный для освещения;
- реле контроля температуры (КК1), предназначенное для контроля температуры в шкафу управления;
- фильтрующий вентилятор (M1), предназначенный для нагнетания холодного воздуха.

Подсистема микроклимата щита управления поддерживает оптимальную температуру шкафа, что является одной из основ обеспечения безаварийной работы.

На листах 2-3 с шифром ФЮРА.421000.001 Э4 представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода аналоговых сигналов.

Подсистема ввода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль питания программируемого логического контроллера Элси-ТМК (А1);
- модуль центрального процессора Элси-ТМК (А2);
- модуль ввода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Элси-ТМК (А3);
- преобразователи аналоговых сигналов (UY1...UY4), пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;
- блоки зажимов (ХТ4-ХТ5).

Подсистема вывода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль вывода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Элси-ТМК (А4, А5);
- преобразователи аналоговых сигналов (UY5...UY7), пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;
- блоки зажимов (ХТ6...ХТ9).

Подсистема аналогового ввода-вывод обеспечивает безопасное подключение аналоговых сигналов к сигнальному модулю контроллера.

На листе 4 с шифром ФЮРА.421000.001 Э4 представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода дискретных сигналов.

Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов включает в себя:

- модуль вывода дискретных сигналов программируемого логического контроллера Элси-ТМК (А6);
- релейный модуль (К1...К4), предназначенный для повышения нагрузочной способности управляющих выходов слаботочного, низковольтного оборудования посредством релейных «сухих» контактов;

– блок зажимов (ХТ10).

Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов обеспечивает безопасное подключение дискретных сигналов к модулю контроллера.

2.6 Разработка монтажной схемы АСР

Монтажная схема АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы представлена на листах с шифром ФЮРА.421000.001 ЭЗ.

В левой верхней части монтажной схемы расположен силовой щит, в нижней части расположен щит управления и его клеммные блоки ХТ1-ХТ10. В средней части показаны внешние соединения датчиков, исполнительных механизмов, частотных преобразователей и блоков управления симисторами и тиристорами со щитом управления. Для соединений применены изолированные провода. В цепях измерения, управления, питания применены провода и кабели с медными жилами. В маркировке кабеля указан тип кабеля, количество и сечение жил, длина кабеля. На монтажной схеме используются следующие типы кабелей:

1) КВВГНГ – контрольный кабель с изоляцией из ПВХ пластиката с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова, не распространяющий горение при групповой прокладке;

2) КВВГ – контрольный кабель с изоляцией из ПВХ пластиката с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова.

Для соединения и разветвления кабелей используются соединительная коробка КС-10.

2.7 Разработка сборочного чертежа шкафа автоматизации

Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.001 ВО.

Внутри шкафа управления размещена система контроля и регулирования, а также вспомогательная аппаратура. В верхней части шкафа расположен осветительный прибор (EL1) и концевой выключатель (SQ1). В верхнем ряду расположен контроллер Элси-ТМК (АС1), рядом с контроллером расположены средства защиты системы питания и управления, а именно разделительные преобразователи (UY1...UY7) и вспомогательная аппаратура – реле (K1...K16, KK1). На втором ряду расположены автоматические выключатели (QF1...QF3), устройство защиты от перенапряжений (Z1), блок питания (G1) и щитовая розетка (XS1) и групповой набор зажимом (XT2). В нижней части шкафа вертикально в несколько рядов расположены групповые оборки зажимов (XT3... XT10).

На лицевой стороне двери расположены кнопки (SB1, SB2) и показано расположение фильтрующего вентилятора (M1).

В данной дипломной работе был выбран шкаф распределительный типа AX 1180.000 IP 66/NEMA 4 производства фирмы Rittal (Германия). Размеры шкафа 1000x800x300 мм. Оборудование размещено на монтажных шинах с перфорацией NS 35/7,5 производителя Phoenix Contact. Для прокладки силовых проводов используются перфорированные коробка 40x40 производителя Efapec. С правой стороны приведен перечень элементов, входящих в щит управления.

Перечень составных частей шкафа автоматизации приведен на листах с шифром ФЮРА.421000.001 СО1.

3. Разработка экранных форм мнемосхем SCADA-системы

Требования, предъявляемые к мнемосхеме, устанавливает предприятие, для которого она предназначена. В данной работе схема разрабатывалась в соответствии с общими требованиями:

- мнемосхема должна содержать только те элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления объектом;
- отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления, должны выделяться размерами, формой, цветом;
- форма и размеры панели должны обеспечивать оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных элементов.

В соответствии с вышеизложенными требованиями была разработана мнемосхема АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы, которая приведена на рисунке 23.

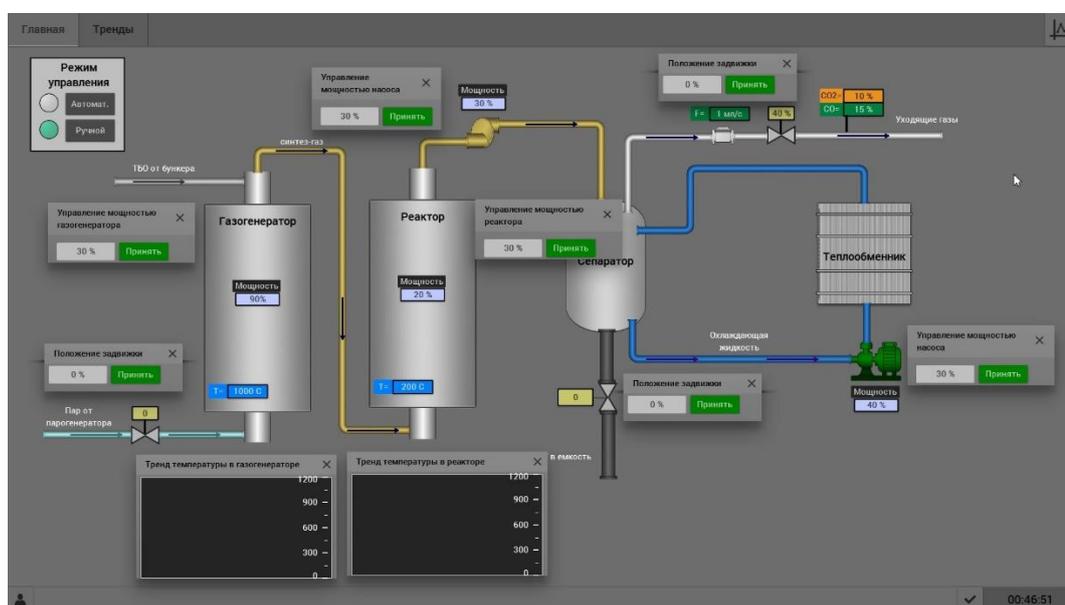


Рисунок 23 – Мнемосхема АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы

Уровень SCADA представлен на рисунке 23. Данный уровень предназначен для обеспечения необходимых условий взаимодействия капли с поверхностью. На мнемосхеме присутствуют газогенератор и реактор,

выполняющие основную роль в пиролизе биомассы. Сепаратор необходим для отделения жидких продуктов от газообразных, отделение происходит за счет конденсирования тяжелых фракций на охлажденных поверхностях сепаратора. Охлаждается за счет теплоносителя, который циркулирует по трубопроводу за счет помпы, отдавая тепло в теплообменнике.

Мнемосхема может управляться как автоматически, так и в ручном режиме. В ручном режиме для изменения положения задвижки необходимо нажать ЛКМ на иконку нужной задвижки. Появится всплывающее окно, в котором вводится число, указывающее на открытие задвижки в процентах, а после нажать кнопку «Принять». После данных действий система начнет открывать/закрывать задвижку, учитывая заданное положение.

Если необходимо вывести тренд переменной по времени, необходимо нажать ЛКМ на иконку с переменной, тогда можно будет наблюдать тренд в реальном времени.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ13	Виноградский Кирилл

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 20%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ</i>	Проведение предпроектного анализа. Анализ потенциальных потребителей результатов исследования. Выполнение SWOT-анализа исследований
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта.
3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ. Формирование бюджета затрат проекта
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Виноградский Кирилл		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка коммерческой ценности разработанной АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы с точки зрения финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- определение потенциальных потребителей исследования;
- анализ конкурентов;
- определение структуры работ, сколько времени и финансовых средств необходимо для достижения поставленной цели;
- определение ресурсоэффективности исследования.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

В связи с тем, что стоимость проведения рассчитывается на АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы, в данном случае потенциальным потребителем является лаборатории, изучающие процесс пиролиза биомассы.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам, позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для ее будущего повышения [48].

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки, обеспечивающие процесс пиролиза биомассы.

1) Пиролиз биомассы в традиционном реакторе

При таком варианте пиролиз происходит из-за нагрева рабочей поверхности с помощью электрических нагревателей. Данный метод энергозатратный и в свою очередь позволяет получить только синтез-газ наименьшего качества [13].

2) Пиролиз биомассы в реакторе Фишера-Тропша

Данная установка имеет две ступени, в первой производится синтез газ. Полученный газ с помощью насоса подается во вторую ступень. Вторая ступень позволяет произвести каталитический пиролиз, с выходом таких продуктов как: жидкое биотопливо, синтез-газ.

3) Пиролиз биомассы в микроволновом реакторе

Микроволновый пиролиз относится к нагреванию биомассы с помощью компонента электрического поля электромагнитной волны. Теплопередача при пиролизе в микроволновой печи происходит непосредственно внутри исходного сырья за счет конвекции и не требует внешней сушки исходного сырья. По сравнению с обычным пиролизом, в котором используется нагрев электрическим сопротивлением, нагрев в микроволновой печи намного эффективнее из-за быстрого объемного нагрева [15].

На выходе микроволнового реактора имеем биоуголь и синтез-газ.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 11. Позиции разработок приведены под номерами 1, 2, 3 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 11, подобраны с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 11 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Динамическая точность	0,2	2	4	4	0,4	0,8	0,8
2. Простота эксплуатации	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
3. Надежность	0,15	3	5	4	0,45	0,75	0,6
4. Качество регулирования	0,2	2	5	5	0,4	1	1
5. Простота наладки	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
3. Стоимость обслуживания	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Итого	1	26	34	32	3,0	4,3	4,1

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); Б_i – балл i -го показателя.

Пример расчета для конкурента 1:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,02 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 3,0. \quad (2)$$

Анализируя полученные результаты, делаем вывод, что разработки под номерами 2 и 3 являются наиболее конкурентоспособными и выгодными. Такие разработки проще в наладке и эксплуатации, обеспечивают большее качество регулирования и динамическую точность в отличие от варианта под номером 1.

В данной работе используется разработка под номером 2. Далее будем рассматривать только ее.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Проведение SWOT-анализа позволило выявить сильные и слабые стороны проекта, а также существующие возможности и угрозы для дальнейшей реализации проекта. Основным достоинством такой системы является ориентированность на снижение выбросов и получение жидкого биотоплива, который в будущем будет активно использовать в России также, как и за рубежом. У системы также существует ряд недостатков, которые в первую очередь связаны с привязкой системы на конкретный вид топлива потребность в высококвалифицированном персонале способным обеспечить обслуживание данной системы. Выявленные недостатки возможно устранить путем проведения дальнейшей модернизации системы с использованием новых технологий.

SWOT-анализ производится в 3 этапа.

1 этап.

При этом этапе необходимо выделить слабые и сильные стороны проекта, а также идентифицировать возможности и угрозы для реализации проекта. Данная информация приведена в таблице 12.

Таблица 12 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны: С1. Невысокая стоимость проекта; С2. Высокая точность результатов; С3. Ориентированность на снижение выбросов; С4. Улучшение функционирования системы управления охраны труда и профессиональными рисками.	Слабые стороны: Сл1. Значительный охват работы, так как в АСУ ТП большое количество расключений датчиков; Сл2. Потребность в высококвалифицированном персонале; Сл3. Для реализации исследования необходимо привлечение большого массива информации.
Возможности: В1. Повышение спроса на продукт; В2. Уменьшение воздействия вредных и опасных производственных факторов на работников предприятия.	Угрозы: У1. Выявление новых опасностей и рисков; У2. Повышение стоимости услуги; У3. Угроза жизни вследствие несоблюдения правил по охране труда при выполнении своей работы.

2 этап.

На данном этапе необходимо идентифицировать соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Интерактивные матрицы проекта представлена в таблицах 13, 14, 15, 16. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны проекта» и «Возможности проекта»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	-	+	+	+

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны проекта» и «Возможности проекта»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	+
	B2	-	+	+

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны проекта» и «Угрозы»

Сильные стороны проекта					
Угрозы		C1	C2	C3	C4
	У1	-	+	+	+
	У2	-	-	+	+
	У3	-	-	-	-

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны проекта» и «Угрозы»

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	+	+	+
	У3	+	-	-

3 этап.

На данном этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 17.

Таблица 17 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Невысокая стоимость проекта С2. Высокая точность результатов С3. Ориентированность на снижение уровней выбросов; С4. Улучшение функционирования системы управления охраны труда и профессиональными рисками.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Значительный охват работы, так как в АСУ ТП большое количество расключений датчиков; Сл2. Потребность в высококвалифицированном персонале; Сл3. Для реализации исследования необходимо привлечение большого массива информации.
Возможности: В1. Повышение спроса на продукт; В2. Уменьшение воздействия вредных и производственных факторов на работников предприятия.	Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности». 1. Повышение спроса на оказываемые услуги; 2. Высокая точность проведения процедуры; 3. Точное выявление всех опасностей и профессиональных рисков.	Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности». 1. Требуется высококвалифицированные специалисты, которые проведут оценку профессиональных рисков.
Угрозы: У1. Выявление новых опасностей и профессиональных рисков; У2. Повышение стоимости на оказываемые услуги; У3. Угроза жизни вследствие несоблюдения правил по охране труда при выполнении своей работы.	Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы». 1. При несоблюдении правил по охране труда воздействие факторов, которые необходимо выявить, могут нанести урон специалисту. 2.	Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы». 1. Отсутствие спроса на услуги.

4.2 Планирование научно-исследовательской работы (НИР)

4.2.1 Структура НИР

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ, установлена продолжительность работ, построен график проведения научного исследования.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Коды работ	Наименование работ	T _к , кал. дни	Начало	Конец	Должность
1	Составление и утверждение задания и плана работ	3	04.02.23	07.02.23	Руководитель
2	Согласование плана работы	7	07.02.23	14.02.23	Руководитель
3	Литературный обзор	25	14.02.23	10.03.23	Исполнитель
4	Выбор исследуемых объектов	2	10.03.23	12.03.23	Исполнитель, руководитель
5	Обработка полученных данных и обсуждение результатов	25	12.03.23	05.04.23	Исполнитель
6	Оформление работы	25	05.04.23	30.04.23	Исполнитель
7	Согласование выполненной работы в НИР	5	30.04.23	05.05.23	Руководитель
ИТОГО:		92			

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В данном разделе определена трудоемкость работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностных характер.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5} \quad (3)$$

где:

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка), чел.-дн.;

$t_{max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4)$$

где:

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести календарные дни.

Для этого воспользуемся формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (5)$$

где:

T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (6)$$

где:

$T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

В соответствии с календарем на настоящий год, то есть 2023 год, календарных дней - 365, рабочих дней-247, выходных и праздничных дней-118.

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48 \quad (7)$$

В таблице 19 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Таблица 19 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители $T_{\text{ч}i}$	Длительность работ в рабочих днях $T_{\text{р}i}$	Длительность работ в календарных днях $T_{\text{к}i}$
	t_{min} чел-дни	t_{max} чел-дни	$t_{\text{ож}i}$ чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	1	4	2	Руководитель	2	2
Календарное планирование работ по теме ВКР	1	3	1,8	Исполнитель	2	2
Поиск и изучение материалов по теме	3	7	5	Исполнитель	4	5
Выбор направления исследований	1	2	1,4	Исполнитель	1	1
Проведение анализа литературы по теме ВКР	7	12	9	Исполнитель	9	11
Проведение исследования	5	12	8,5	Исполнитель	7	9
Согласование полученных данных с научным руководителем	5	8	6,2	Исполнитель, руководитель	6	7
Подготовка образцов к исследованию	1	3	1,8	Исполнитель	2	2

Продолжение таблицы 19

Проведение эксперимента	6	12	8,4	Исполнитель	8	10
Обработка полученных данных	8	13	10	Исполнитель, руководитель	10	12
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	7	11	8,6	Исполнитель	9	11
Работа над выводами по проекту	5	9	6,6	Исполнитель	7	9
Оценка эффективности полученных результатов	11	14	12,2	Исполнитель, руководитель	12	15

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

В данном разделе построен ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Календарный план-график приведен в таблице 20 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

Таблица 20 – Календарный план-график проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				март			апрель			май			июнь		
				10	20	30	10	20	30	10	20	30	10		
1	Составление и утверждениетехнического задания	Научный руководитель	2	■											
2	Календарное планирование работ по теме ВКР	Студент	2		■										
3	Поиск и изучение материалов по теме	Студент	5		■										
4	Выбор направления исследований	Студент	1		■										
5	Проведение анализа литературы по теме ВКР	Студент	11		■	■									
6	Проведение исследования	Студент	9			■									
7	Согласование полученных данных с научным руководителем	Студент, научный руководитель	7				■	■							
8	Подготовка образцов к исследованию	Студент	2					■							
9	Проведение эксперимента	Студент	10						■						
10	Обработка полученных данных	Студент, научный руководитель	12							■	■				
11	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент	11								■				
12	Работа над выводами по проекту	Студент	9									■			
13	Оценка эффективности полученных результатов	Студент, научный руководитель	15										■	■	

■ – студент ■ – научный руководитель

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Смета затрат на выполнение данного проекта содержит все расходы, необходимые для осуществления комплекса всех работ над проектом и реализации поставленных задач.

4.3.1 Основная заработная плата исполнителей проекта

Данная статья расходов подразумевает суммарную заработную плату научного руководителя и исполнителя (инженер), с учётом входящих в фонд заработной платы различных премий. Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ рассчитывается как произведение среднедневной заработной платы $Z_{\text{дн}}$ и продолжительности выполнения работ ТРД.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (8)$$

где:

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, исполнителя) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (9)$$

где:

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (10)$$

где:

Z_m – месячный заработная плата работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 56 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	67	118
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	56	24
– невыход по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	242	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \times (1 + k_{пр} + k_d) \times k_p, \quad (11)$$

где:

$Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,15-0,2 (т.е. 15-20% от $Z_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Месячный должностной оклад руководителя и инженера:

$$\begin{aligned} Z_m^{рук} &= Z_{тс} \times (1 + k_{пр} + k_d) \times k_p = 42000 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 \\ &= 81\,900 \text{ рублей} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_m^{инж} &= Z_{тс} \times (1 + k_{пр} + k_d) \times k_p = 25000 \times (1 + 0,3 + 0,15) \times 1,3 \\ &= 47\,125 \text{ рублей} \end{aligned}$$

Среднедневная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$Z_{\text{дн}}^{\text{рук}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} = \frac{81\,900 \times 10,4}{242} = 3\,519,7 \text{ рублей} \quad (12)$$

$$Z_{\text{дн}}^{\text{инж}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} = \frac{47\,125 \times 11,2}{223} = 2\,366,8 \text{ рублей} \quad (13)$$

Основная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 3\,519,7 \cdot 16 = 56\,315,2 \text{ рублей} \quad (14)$$

$$Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 2\,366,8 \cdot 63 = 149\,108 \quad (15)$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Зб, руб.	кпр	кд	кр	Зм, руб.	Здн, руб.	Траб, дн.	Зосн, руб.
Руководитель	42000	0,3	0,2	1,3	81900	3 519,7	16	56 315,2
Инженер	25000	0,3	0,15	1,3	47125	2 366,8	63	149 108
Итого:								205 423,2

4.3.2 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодно оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}}, \quad (16)$$

где:

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15).

$$Z_{\text{доп}}^{\text{рук}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} = 0,12 \times 56\,315,2 = 6\,757,824 \text{ рублей} \quad (17)$$

$$Z_{\text{доп}}^{\text{инж}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} = 0,12 \times 149\,108 = 17\,892,96 \text{ рублей} \quad (18)$$

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 23.

Таблица 23 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	кдоп	Зосн	Здоп
Научный руководитель	0,12	56 315,2	6 757,824
Инженер		149 108	18 892,96
Итого:			25 650,784

4.3.3 Расчеты затрат на страховые взносы

В данном разделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Затраты на страховые взносы, включающие в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование согласно ФЗ от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{соц}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot 0,302; \quad (19)$$

$$C_{\text{соц}} = 231\,073,984 \cdot 0,302 = 69\,784,3 \text{ руб.} \quad (20)$$

4.3.4 Расчет накладных расходов

В бюджете проекта отдельного учета требуют накладные расходы. Эта статья учитывает затраты на управление и хозяйственное обслуживание, а также эксплуатацию оборудования. Накладные расходы принимаются равными 20% ($k_{\text{накл}}=0,2$) от суммарной основной заработной платы работников и могут быть вычислены по формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \times \sum Z_{\text{осн}}, \quad (21)$$

где:

$C_{\text{накл}}$ – суммарные накладные расходы, руб.

Таким образом суммарные накладные расходы равны:

$$C_{\text{накл}} = 0,2 \cdot 205\,423,2 = 41\,084,64 \text{ рублей.} \quad (22)$$

После проведения расчета по всем статьям затрат на разработку НТИ можно рассчитать полную себестоимость, представленную в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет бюджета затрат на НТИ

Статья затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты	2 700
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	205 423,2
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	25 650,784
Отчисления во внебюджетные фонды	69 784,3
Накладные расходы	41 084,64
Итого	344 642,924

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i, \quad (23)$$

где:

I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Весовой коэффициент параметра	Исполнитель 1	Исполнитель 2	Исполнитель 3
1.Точность	0,2	4	4	4
2.Удобство в эксплуатации	0,15	3	4	3
3.Надежность	0,15	4	4	4
4.Безопасность	0,15	4	5	4

Продолжение таблицы 25

5.Простота эксплуатации	0,15	4	4	4
6.Возможность автоматизации данных	0,2	3	5	3
ИТОГО:	1	22	26	22

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{\text{исп}}^1 = 0,2 \times 4 + 0,15 \times 3 + 0,15 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,2 \times 3 = 3,65 \quad (24)$$

$$I_{\text{исп}}^2 = 0,2 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,15 \times 5 + 0,15 \times 4 + 0,2 \times 5 = 4,35 \quad (25)$$

$$I_{\text{исп}}^3 = 0,2 \times 4 + 0,15 \times 3 + 0,15 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,2 \times 3 = 3,65 \quad (26)$$

Показатель ресурсоэффективности для 2 варианта исполнения проекта равен 4,35 из 5, что говорит об его эффективности.

Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела была проведена оценка коммерческой ценности проекта.

В первой части проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Определены потенциальные потребители данного проекта, проведен анализ конкурентных технических решений. С помощью SWOT-анализа выявлены сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Во второй части определена структура работ в рамках научного исследования и трудоемкость их выполнения, разработана диаграмма Ганта.

В третьей части определен и сформирован бюджет научно-технического исследования, выполнен расчет материальных затрат, затрат на оборудование, основной заработной платы исполнителей, дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы.

В четвертой части определен интегральный показатель ресурсоэффективности, по которому можно судить об экономии ресурсов для достижения поставленной цели. Анализируя полученные результаты, можно оценить, сколько финансовых средств и времени потребуется на реализацию данного проекта и о том насколько проект будет востребован на рынке.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО (полностью)	
5БМ13		Виногородский Кирилл	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	И.Н.Бутакова
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение:

- характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения;
- описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации.

Объект исследования: автоматизированная система пиролиза композиционного топлива биомассы в реакторе Фишера-Тропша
Область применения: энергетическая отрасль
Рабочая зона: лаборатория
Размеры помещения: площадь не более 25 м²
Количество и наименование оборудования рабочей зоны: рабочий стол, муфельные печи, координатные механизмы, насосы, частотные преобразователи, теплообменники.
Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющихся в рабочей зоне: ведение экспериментальных исследований, обслуживание оборудования и механизмов, управление технологическим процессом.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

- Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ.
- ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя.
- ГОСТ 21958-76 Система «Человек-машина».
- ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ Средства защиты работающих.

2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:

- анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов;
- расчет уровня опасного или вредного производственного фактора.

Вредные факторы:

- электромагнитное излучение;
- повышенный уровень шума
- повышенный уровень вибрации
- повышенная запыленность и загазованность;
- повышенная концентрация СО в помещении.

Опасные факторы:

	<ul style="list-style-type: none"> – поражение электрическим током; – тепловое воздействие; – механическое воздействие. <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: тепловая изоляция</p> <p>Расчет: расчет системы искусственного освещения</p>
3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u>	Потенциальным негативным воздействием на окружающую среду является воздействие на атмосферный воздух (выбросы CO ₂ , NO _x , SO ₂ при работе оборудования).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – взрывы резервуаров; – короткое замыкание; – разрыв реактора. <p>Наиболее типичные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – возгорание биомассы;
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО (полностью)	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО (полностью)	Подпись	Дата
5БМ13	Виноградский Кирилл		

Введение

Цель данного раздела представляет собой идентификацию опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) в лаборатории, а именно рабочего места – лаборанта.

Идентификация ОВПФ несомненно помогает снижению уровня профессиональных рисков, так как вовремя выявленные опасности, необходимо своевременно ликвидировать или понизить уровень их воздействия, что помогает усовершенствовать систему управления профессиональными рисками.

Вредные факторы:

- электромагнитное излучение;
- повышенный уровень шума;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенная запыленность и загазованность;
- повышенная концентрация СО в помещении.

Опасные факторы:

- поражение электрическим током;
- тепловое воздействие;
- механическое воздействие.

2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства

Согласно [48,49] работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;

- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о социальной оценке условий труда;

- защиту своих трудовых прав, свобод и законных интересов всеми не запрещенными законом способами;

- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда;

- обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами;

- обеспечение средствами индивидуальной защиты и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

К работе инженером-оператором АСУ допускаются лица не моложе 18 лет, соответствующей квалификации, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие медицинское освидетельствование в соответствии с приказом [50], прошедшие проверку знаний требований безопасности труда в установленном порядке и получившие допуск к самостоятельной работе. Инженер-оператор АСУ должен иметь соответствующую группу по электробезопасности – III группа [51].

III группа по электробезопасности позволяет работнику производить отключения, переключения, выключения электрооборудования, выполнять работы в порядке текущей эксплуатации, наблюдать за безопасностью других членов бригады [52].

Инженер-оператор АСУ должен проходить обучение по охране труда в виде: вводного инструктажа, первичного инструктажа на рабочем месте и специального обучения в объеме программы подготовки по профессии [53].

5.1.1 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно [53] общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя:

1. конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы;

2. рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда;

3. требования к взаимному расположению элементов рабочего места: пульта управления, средств отображения информации, органов управления, кресла, вспомогательного оборудования установленные в [53].

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Для проведения анализа вредных и опасных факторов при разработке, изготовлении и эксплуатации АСУ ТП составлена таблица 26 в соответствии с классификацией, указанной в [54].

Таблица 26 – Опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Электромагнитное излучение	+			Параметры уровня электромагнитного излучения устанавливаются ГОСТ 12.1.006 – 84 ССБТ [55].
2.Повышенный уровень шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [56].
3.Повышенный уровень вибрации	+	+	+	ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования [57]. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий [58].
3.Повышенная запыленность и загазованность	+		+	ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [59].
4.Повышенная концентрация СО в помещении	+		+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [60].
6.Тепловое воздействие		+	+	ГОСТ Р 30331.4-95. Защита от тепловых воздействий [61].
7.Механическое воздействие		+	+	ГОСТ Р 56257-2014 Характеристика факторов внешнего природного воздействия. Общая классификация [62].

1) Электромагнитное излучение

Так как трудовая деятельность оператора АСУ ТП, в частности, связана с работой за персональным компьютером, то на него оказывается воздействие электромагнитного излучения.

Источниками электромагнитного излучения являются все элементы персонального компьютера. Электромагнитные излучения негативно влияют на нервную, эндокринную и сердечно-сосудистую системы. Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПВМ представлены в таблице 27, согласно СанПиН 1.2.3685-21.

Таблица 27 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного поля	В диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

2) Повышенный уровень шума

В производственных условиях источниками шума являются работающие механизмы и ручные механизированные инструменты и т.д. В условиях сильного шума возникает опасность снижения и потери слуха, которая во много обусловленная индивидуальными особенностями человека [63].

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Предельно допустимые уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести в дБА [64]

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

3) Повышенный уровень вибрации

Такой вредный фактор как вибрация возникает в процессе эксплуатации оборудования. Источниками вибрации являются вращающиеся механизмы, подвижные элементы электродвигателей. Для помещения оператора вибрация соответствует 3 категории типа «в» - технологическая вибрация, воздействующая на оператора на рабочих местах или передающиеся на рабочие

места, не имеющие источников вибрации [65]. Повышенная вибрация может оказывать влияние на увеличение кровяного давления, нарушения сна, обострения нервных и сердечно-сосудистых заболеваний. В операторной вибрация не превышает предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 8 ч, которые в пересчете на эквивалентные значения составляют:

- по виброускорению – 0,145 м/сек² (100 дБ);
- по виброскорости – 0,12 м/с (75 дБ).

4) Повышенная запыленность и загазованность

Процесс пиролиза биомассы подразумевает использование газов как катализаторов. Есть вероятность возникновения утечек токсичных веществ внутри и снаружи помещения. В случае утечки газа здоровью персонала может быть нанесен серьезный ущерб.

Снижение влияния фактора можно осуществить при мониторинге технологического оборудования на наличие утечек для их незамедлительного устранения. Широкое распространение в системах контроля загазованности и запыленности получили датчики, определяющие концентрацию вредных веществ в помещении. При этом, такие датчики оснащаются средствами сигнализации для оповещения персонала.

Для уменьшения запыленности и загазованности в помещении устанавливается вытяжная система. Приточно-вытяжная вентиляция во всех помещениях работает постоянно, кроме летнего периода времени, что связано с остановкой котельной.

5) Повышенная концентрация СО в помещении

В процессе пиролиза биомассы выходом являются твердые, жидкие и газообразные продукты. Недостаточная плотность соприкосновения стальных конструкций дымохода ведет к утечке СО в производственное помещение. Повышенная концентрация СО препятствует доставке кислорода в кровотоке, из-за этого страдает весь организм.

Таблица 29 – Предельно-допустимая концентрация СО в воздухе рабочей зоны [66]

Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м ³	Особенности действия на организм
Оксид углерода	СО	20	О
При длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч предельно допустимая концентрация оксида углерода может быть повышена до 50 мг/м ³ , при длительности работы не более 30 мин - до 100 мг/м ³ , при длительности работы не более 15 мин - 200 мг/м ³ . Повторные работы при условиях повышенного содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны могут проводиться с перерывом не менее, чем в 2 ч.			

Одним из самых известных методов по снижению концентрации в производственных помещениях углекислого газа является метод рециркуляции.

Еще один метод подразумевает использование дополнительного оборудования – продувочных вентиляторов.

б) Поражение электрическим током

На любом рабочем месте существует опасность поражения электрическим током. При этом электрический ток производит термическое, электролитическое, биологическое воздействие на организм человека. Действие электрического тока приводит к местным электротравмам и электрическим ударам [67]. Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 30 [68].

Таблица 30 – Значения напряжений прикосновений и токов [68]

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

7) Тепловое воздействие

Во время работы с муфельными печами некоторые части оборудования сильно нагреваются. Неосторожное обращение с нагретым оборудованием может привести к ожогам.

Кроме того, для защиты от высоких температур при проведении профилактических мероприятий в непосредственной близости от котлоагрегата персоналу выдается специальная экипировка. Последствиями контакта с высоко нагретыми поверхностями являются ожоги.

8) Механическое воздействие

Существует опасность получения травмы подвижными элементами модуля линейного перемещения.

Согласно ГОСТ Р 56257-2014, мерами предосторожности являются:

- при эксплуатации модуля необходимо соблюдать все общие правила техники безопасности работы с механизмами;

- запрещается эксплуатация модуля при обнаружении неисправностей в работе механических или электрических компонентов. Продолжать работу разрешается только после устранения причин неисправностей специалистами;

- при эксплуатации необходимо следить за чистотой всех механизмов модуля и двигателя, периодически очищать их от пыли и грязи. Обтирочные материалы, которыми очищается модуль, не должны оставлять следов и ворса на протираемых поверхностях.

5.3 Расчет системы искусственного освещения

В ходе проведения лабораторных исследований выявлена опасность – недостаточная освещенность рабочего места.

Корректирующие мероприятия – установить систему освещения согласно требованиям.

Размер помещения, в котором оператор АСУ ТП проводит работу - 5×5 м. Установлена 1 лампа.

При правильном освещении повышается производительность труда, улучшаются условия безопасности, снижается утомляемость. Для освещения помещения используют естественный свет и свет от источников искусственного освещения.

Искусственное освещение предусматривается в помещениях, в которых недостаточно естественного света, или для освещения в часы суток, когда естественная освещенность отсутствует.

На производстве в помещениях управления используется совмещенное освещение, включающее естественный и искусственный свет. Для освещения помещения применяют лампы накаливания. Согласно СП 52.13330.2016 для работ средней точности при среднем контрасте и среднем фоне, при одном общем освещении, освещенность рабочего места люминесцентными лампами принята равной $E_n = 300$ лк.

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B = 5 \cdot 5 = 25 \text{ м}^2, \quad (28)$$

где: А – длина, м; В – ширина, м.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_n = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-65, световой поток которой равен $\phi_{л\delta} = 3750$ лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР – 2-80. Этот светильник имеет две лампы мощностью 80 Вт каждая, длина светильника равна $s = 1531$ мм, ширина – $d = 266$ мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина, которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\eta=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$H = h_n - h_p, \quad (29)$$

где:

h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОД: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 0,8 - 0,3 = 2,4 \text{ м.} \quad (30)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,4 = 2,64 \text{ м.} \quad (31)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{B}{L} = \frac{5}{2,64} = 1,89 \approx 2 \quad (32)$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L} = \frac{5}{2,64} = 1,89 \approx 2 \quad (33)$$

Общее число светильников:

$$N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 2 = 4 \quad (34)$$

Расстояния от крайних светильников до стены и расстояния между соседними светильниками с учётом длины помещения определяются по формулам:

$$A = N_a \cdot S + L_1 + \frac{2}{3}L_1 \quad (35)$$

$$5000 = 2 \cdot 1531 + L_1 + \frac{2}{3}L_1 \quad (36)$$

$$L_1 = 1162 \text{ мм} = 1,162 \text{ м} \quad (37)$$

$$I_1 = \frac{L_1}{3} = \frac{1162}{3} = 387,3 \text{ мм} = 0,38 \text{ м} \quad (38)$$

Расчёт расстояния от крайних светильников до стены с учётом ширины помещения:

$$B = N_b \cdot D + L_2 + \frac{2}{3}L_2 \quad (39)$$

$$5000 = 2 \cdot 266 + L_2 + \frac{2}{3}L_2 \quad (40)$$

$$L_2 = 2680 \text{ мм} = 2,7 \text{ м} \quad (41)$$

$$I_2 = \frac{L_2}{3} = \frac{2680}{3} = 893 \text{ мм} = 0,893 \text{ м} \quad (42)$$

Размещаем светильники в один. На рисунке 24 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

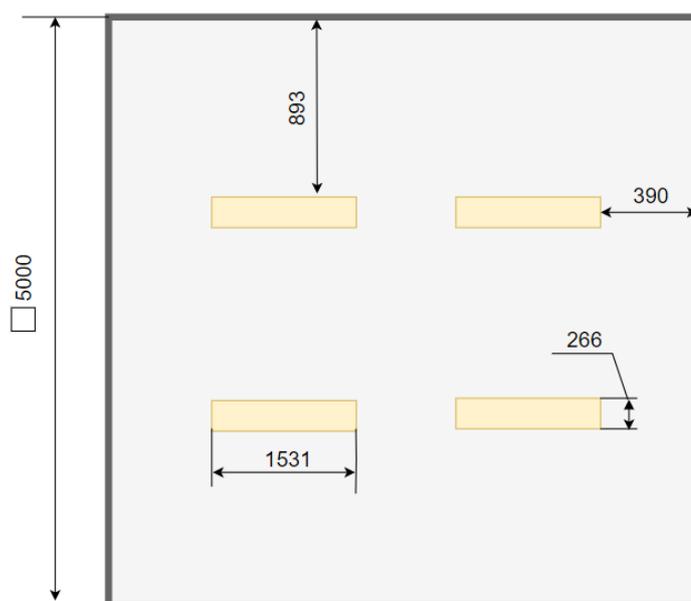


Рисунок 24 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \times (a+b)} = \frac{5 \cdot 5}{2,4 \cdot (5+5)} = 1,04 \quad (43)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_n = 70\%$, $\rho_c = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,04$ равен $\eta = 0,43$. Количество ламп в 4 светильниках – 8.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{л} = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot N} = \frac{300 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,43} = 3597 \text{ лм} \quad (44)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{лд} - \Phi_{п}}{\Phi_{лд}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (45)$$

$$\frac{\Phi_{лд} - \Phi_{п}}{\Phi_{лд}} \cdot 100\% = \frac{3750 - 3597}{3750} \cdot 100\% = 4\% \quad (46)$$

Таким образом, $-10\% \leq 4\% \leq 20\%$, следовательно, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Электрическая мощность всей осветительной системы:

$$P = N_{л} \cdot p_{л} = 4 \cdot 80 = 320 \text{ Вт} \quad (47)$$

5.3 Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации парового котла происходят выбросы дымовых газов и золы, а также углекислого газа и водяного пара.

1) Защита атмосферы

Существует несколько методов очистки дымовых газов, а также активно применяется комбинирование различных методов. Для очистки дымовых газов от золы и твердых частиц используют фильтрование. Для очистки дымовых газов от оксидов серы используется мокрая сероочистка, сухая очистка, мокросухая очистка.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Существует ряд возможных чрезвычайных ситуаций:

- взрывы резервуаров;
- короткое замыкание;
- разрыв трубопровода;
- возгорание угольной пыли.

В котельной наибольшую опасность представляет возникновение возгорания. Поскольку топливо необходимо складировать, а жидкое топливо хранить в резервуарах для дальнейшего сжигания, то существует вероятность воспламенения.

При использовании жидкого и твердого топлива контролировать состояние:

- емкостей с горючим путем внешнего осмотра и измерения температуры в них. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, появление характерного запаха;

- штабелей путем внешнего осмотра и измерения температуры в штабелях. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, наличие пятен на увлажненной поверхности штабеля. Если появились признаки

самовозгорания топлива, то необходимо в первую очередь начать подачу топлива из этого штабеля в бункера котлов, но без очагов огня во избежание пожара в котельном цехе.

Самой распространенной причиной возникновения пожара в котельных является нарушение противопожарных правил. Поэтому обслуживающий персонал должен эти правила хорошо знать и выполнять.

Действия оператора:

В соответствии с «Правилами безопасности в газовом хозяйстве» (ст. 3.7.8), в случаях загорания горючих отложений в газоходах, оператор должен немедленно прекратить подачу газа на установку и произвести её аварийную остановку:

1. немедленно прекратить подачу топлива и воздуха в топку; и снизить до нуля тягу, для этого:

1.1. остановить вентилятор и дымосос;

1.2. закрыть шиберы за котлом, направляющие аппараты дымососа и вентилятора;

2. подать пар в топку и газоход котла через обдувочные устройства и (или) через форсунки;

3. Отключить котёл от паропровода;

4. После прекращения горения в газоходе котла включить в работу дымосос и вентилятор;

5. После выхода пара из газоходов провентилировать котёл в течение 15 минут при полностью открытых направляющих аппаратах вентилятора и дымососа;

6. В случае последующего включения котла в работу, растопить его и работать при малых нагрузках, создать в газоходах повышенное разрежение и тщательно обдуть конвективные поверхности, экономайзер и газоходы котла.

Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что, соблюдая определенные нормы и правила, возможно наладить стабильное производство, не подвергая опасности окружающую среду и людей.

Раздел направлен на обеспечение комфортных рабочих мест, соблюдение норм вредных воздействий как на окружающую среду, так и на производственный персонал, а также способы предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций и порядок действий при их возникновении.

С точки зрения «Правил устройства электроустановок (ПУЭ)» помещение лаборанта относится к категории: помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

В представленной работе выбраны:

- Группа персонала по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок определена: Группа I I.

- Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением).

- Помещение лаборатория к категории Д – Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

- Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории.

Заключение

В ходе данной магистерской работы была разработана АСУ ТП в экспериментальном реакторе Фишера-Тропша при пиролизе композиционной биомассы. Была составлена проектная документация в виде:

- структурная схема;
- функциональная схемы;
- электрической схемы;
- монтажной схемы;
- щит управления;
- заказная спецификация.

Также был произведен выбор оборудования и составлена заказная спецификация на средства автоматизации. Для удобства пользования данной системой оператором была разработана мнемосхема в ПО MasterSCADA. По результатам проделанной работы можно сделать вывод о том, что разработанная система полностью отвечает заявленным требованиям.

Проведена оценка ресурсоэффективности и конкурентоспособности разрабатываемой системы. Проектируемая автоматическая система управления имеет большой потенциал, она конкурентоспособна и перспективна. Главным достоинством системы является ее применимость в условиях использования экологически более чистого многокомпонентного топлива.

Рассмотрено влияние вредных факторов на организм человека и окружающую среду в процессе эксплуатации системы. Разработаны инструкции и мероприятия по устранению и минимизации влияния негативных факторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / Ключев А.С., Глазов Б.В., Дубровский А.Х., Ключев А.А.; Под ред. Ключева А.С. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 464 с.: ил.
2. G. Pintér, H. Zsiborács, N.H. Baranyai, Aspects of Determining the Energy Storage System Size Linked to Household-Sized Power Plants in Hungary in Accordance with the Regulatory Needs of the Electric Energy System, *Sustain.* 14 (2022). doi:10.3390/SU14052622.
3. A. Sertolli, Z. Gabnai, P. Lengyel, A. Bai, Biomass Potential and Utilization in Worldwide Research Trends—A Bibliometric Analysis, *Sustain.* 2022, Vol. 14, Page 5515. 14 (2022) 5515. doi:10.3390/SU14095515.
4. S. Golder, M.R. Islam, R. Narayanan, M.A. Gafur, R. Pippia, S.K. Tyagi, Comparative study of thermal degradation kinetics of two woody biomass samples for bio-oil production, *Sustain. Energy Technol. Assessments.* 52 (2022). doi:10.1016/J.SETA.2022.102158.
5. D. Dermawan, A.N. Febrianti, E.E.P. Setyawati, M.-T. Pham, J.-J. Jiang, S.-J. You, Y.-F. Wang, The potential of transforming rice straw (*Oryza sativa*) and golden shower (*Cassia fistula*) seed waste into high-efficiency biochar by atmospheric pressure microwave plasma, *Ind. Crops Prod.* 185 (2022) 115122. doi:10.1016/J.INDCROP.2022.115122.
6. H. Zhu, J. Saddler, X. Bi, An economic and environmental assessment of biofuel produced via microwave-assisted catalytic pyrolysis of forest residues, *Energy Convers. Manag.* 263 (2022) 115723. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2022.115723.
7. G. Li, R. Hu, N. Wang, T. Yang, F. Xu, J. Li, J. Wu, Z. Huang, M. Pan, T. Lyu, Cultivation of microalgae in adjusted wastewater to enhance biofuel production and reduce environmental impact: Pyrolysis performances and life cycle assessment, *J. Clean. Prod.* 355 (2022). doi:10.1016/J.JCLEPRO.2022.131768.

8. G.R. Mong, C.T. Chong, J.H. Ng, W.W.F. Chong, S.S. Lam, H.C. Ong, F.N. Ani, Microwave pyrolysis for valorisation of horse manure biowaste, *Energy Convers. Manag.* 220 (2020) 113074. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2020.113074.

9. С. Шахсавари, С.М. Садрамели, Производство возобновляемых ароматических соединений и гетероциклов путем каталитического пиролиза ресурсов биомассы с использованием промотированных рением и оловом цеолитных катализаторов ZSM-5, *Process Saf. Окружающая среда.* прот. 141 (2020) 305–320. doi:10.1016/j.psep.2020.04.023.

10. Г. Пинтер, Х. Жиборац, Н. Х. Бараньяй, Аспекты определения размера системы накопления энергии, связанной с электростанциями домашнего хозяйства в Венгрии, в соответствии с нормативными потребностями электроэнергетической системы, *Sustain.* 14 (2022). doi: 10.3390/SU14052622.

11. А. Сертолли, З. Габнаи, П. Ленгшел, А. Бай, Потенциал биомассы и использование в мировых тенденциях исследований — библиометрический анализ, *Sustain.* 2022, Том. 14, стр. 5515. 14 (2022) 5515. doi:10.3390/SU14095515.

12. С. Голдер, М.Р. Ислам, Р. Нараянан, М.А. Гафур, Р. Пиппия, С.К. Тьяги, Сравнительное исследование кинетики термического разложения двух образцов древесной биомассы для производства бионефти, *Sustain. Энергетическая технология. Оценки.* 52 (2022). doi:10.1016/J.SETA.2022.102158.

13. Д. Дермаван, А.Н. Фебрианти, Э.Э.П. Сетявати, М.-Т. Фам, Дж.-Дж. Цзян, С.-Дж. Вы, Ю.-Ф. Ван, Потенциал преобразования отходов семян рисовой соломы (*Oryza sativa*) и золотого дождя (*Cassia fistula*) в высокоэффективный биоуголь с помощью микроволновой плазмы атмосферного давления, *Ind. Crops Prod.* 185 (2022) 115122. doi:10.1016/J.INDCROP.2022.115122.

14. Чжу Х., Сэддлер Дж., Би Х. Экономическая и экологическая оценка биотоплива, полученного путем каталитического пиролиза лесных отходов с

помощью микроволнового излучения, *Energy Convers. Управление* 263 (2022) 115723. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2022.115723.

15. Г. Ли, Р. Ху, Н. Ван, Т. Ян, Ф. Сюй, Дж. Ли, Дж. Ву, З. Хуанг, М. Пан, Т. Лю, Культивирование микроводорослей в отрегулированных сточных водах для улучшения производство биотоплива и снижение воздействия на окружающую среду: характеристики пиролиза и оценка жизненного цикла, *J. Clean. Произв.* 355 (2022). doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.131768.

16. Г.Р. Монг, К.Т. Чонг, Дж.Х. Нг, В.В.Ф. Чонг, С.С. Лам, Х.К. Онг, Ф.Н. Ани, Микроволновый пиролиз для повышения ценности биоотходов конского навоза, *Energy Convers. Управление* 220 (2020) 113074. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2020.113074.

17. К. Чоу, Обзор циклонной горелки на древесной биомассе, *Энергетика.* 14 (2021) 4807. doi:10.3390/EN14164807.

18. С. Джа, Дж.А. Околье, С. Нанда, А.К. Далай, Обзор ресурсов биомассы и технологий термохимической конверсии, *Chem. англ. Технол.* 45 (2022) 791–799. doi: 10.1002/CEAT.202100503.

19. В.С. Sikarwar, M. Zhao, P. Clough, J. Yao, X. Zhong, M.Z. Мемон, Н. Шах, Э.Дж. Энтони, Р.С. Феннелл, Обзор достижений в области газификации биомассы, *Energy Environ. науч.* 9 (2016) 2939–2977. doi: 10.1039/c6ee00935b.

20. Ю.К.Н., П.Д. Т, С.П, К.С, Ю.К. R, S. Varjani, S. AdishKumar, G. Kumar, RBJ, Пиролиз на основе лигноцеллюлозной биомассы: всесторонний обзор, *Chemosphere.* 286 (2022). doi:10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.131824.

21. Х. Ли, Ю. Ван, Н. Чжоу, Л. Дай, В. Дэн, К. Лю, Ю. Ченг, Ю. Лю, К. Кобб, П. Чен, Р. Руан, Применение оксида кальция катализаторы на основе пиролиза/газификации биомассы – обзор, *J. Clean. Произв.* 291 (2021) 125826. doi:10.1016/j.jclepro.2021.125826.

22. Лapidус А.Л., Цапкина М.В., Крылова А.Ю., Тонконогов Б.П., 2005. Биметаллические кобальтовые катализаторы синтеза углеводородов из СО и Н₂ / Русское химическое обозрение. Т. 76(6). С. 577-586. 10.1070/RC2005v074n06ABEH001170

23. Сунгюп Чон, Сангюн Ли, Ён-Квон Пак, Кьон Хо Ли, Эйлханн Э.Квон. Каталитический пиролиз рисовой соломы с участием CO₂ для производства синтез-газа и производства электроэнергии / Преобразование энергии и управление. Том 220, 15 сентября 2020 г., 113057. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113057>

24. Сунгюп Юнг, Дохи Квон, Ю Фай Цанг, Янг-Квон Пак, Эйлханн Э. Квон. Каталитический пиролиз ореховой скорлупы макадамии с подачей CO₂ / Journal of CO₂ Utilization. Том 37, апрель 2020 г., страницы 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2019.12.001>

25. Ван Ю., Хуанг Л., Чжан Т. и Ван К. (2022). Производство синтез-газа, богатого водородом, путем пиролиза биомассы и каталитического риформинга с использованием катализаторов на основе биоугля. Топливо, 313 <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.123006>

26. Dingding Yao, He Li, Yanjun Dai, Chi-Hwa Wang, 2021. Влияние температуры на активность Fe-Ni катализаторов пиролиза и разложения пластиковых отходов / Журнал химической инженерии. Том 408, 15 марта 2021 г., 127268. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127268>

27. Albert L Lapidus, Mariya V Tsapkina, Alla Yu Krylova, Boris P Tonkonogov. Bimetallic cobalt catalysts for the synthesis of hydrocarbons from CO and H₂. Russ Chem Rev 2005;74:577. <https://doi.org/10.1070/RC2005v074n06ABEH001170>.

28. Vichaphund S, Sricharoenchaikul V, Atong D. Industrial waste derived CaO-based catalysts for upgrading volatiles during pyrolysis of Jatropha residues. J Anal Appl Pyrolysis 2017;124:568–75. <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2017.01.017>.

29. Taufiq-Yap YH, Wong P, Marliza TS, Nurul Suziana NM, Tang LH, Sivasangar S. Hydrogen production from wood gasification promoted by waste eggshell catalyst. Int J Energy Res 2013;37:1866–71. <https://doi.org/10.1002/ER.3003>.

30. Zhang S, Dong Q, Zhang L, Xiong Y. High quality syngas production from microwave pyrolysis of rice husk with char-supported metallic catalysts. Bioresour

Technol 2015;191:17–23. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.114>.

31. Jeong KH, Choi DH, Lee DJ, Kim JK, Kim H, Ok YS, et al. CO₂-looping in pyrolysis of horse manure using CaCO₃. J Clean Prod 2018;174:616–24. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.11.022>.

32. Yuan R, Yu S, Shen Y. Pyrolysis and combustion kinetics of lignocellulosic biomass pellets with calcium-rich wastes from agro-forestry residues. Waste Manag 2019;87:86–96. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.009>.

33. Laca A, Laca A, Díaz M. Eggshell waste as catalyst: A review. J Environ Manage 2017;197:351–9. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2017.03.088>.

34. Mohamed BA, Kim CS, Ellis N, Bi X. Microwave-assisted catalytic pyrolysis of switchgrass for improving bio-oil and biochar properties. Bioresour Technol 2016;201:121–32. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2015.10.096>.

35. Schulz H. Short history and present trends of Fischer–Tropsch synthesis. Appl Catal A Gen 1999;186:3–12. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0926-860X\(99\)00160-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0926-860X(99)00160-X).

36. Термоэлектрический преобразователь с унифицированным выходным сигналом ТПУ-205. Каталог продукции Элемер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elemer.ru/catalog/datchiki-temperaturey/termopreobrazovateli-s-unifitsirovannym-vykhodnym-signalom/tpu-205-tkhkhu-205/>, свободный. – Загл. с экрана.

37. Термоэлектрический преобразователь с унифицированным выходным сигналом Метран-281. Каталог продукции Метран. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mtn.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2018/11/281286288.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

38. Датчик давления Метран-305. Каталог продукции Метран. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neftel.ru/datchik-davlenija-metran-305pr/>, свободный. – Загл. с экрана.

39. Вихревой расходомер Rosemount 8800D. Каталог продукции Rosemount. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://rosemeter.nt-rt.ru/images/>

manuals/RSE_8800D_TSD.pdf., свободный. – Загл. с экрана.

40. Промышленный расходомер сжатого воздуха Аквилон-710. Каталог продукции Аквилан. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://akvilon.nt-rt.ru/> ., свободный. – Загл. с экрана.

41. Газоанализатор. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazoanalizators.ru/AKVT-01-AKVT-02-AKVT-03.html> ., свободный. – Загл. с экрана.

42. Газоанализатор. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazoanalizators.ru/ANGOR-S.html> ., свободный. – Загл. с экрана.

43. Газоанализатор. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gazoanalizators.ru/upload/iblock/dd9/qnhl7fjqnbisyz0m7k3z7cz2ngrobsxc/ikts-11-re.pdf> ., свободный. – Загл. с экрана.

44. Однооборотные электроприводы с интеллектуальным блоком КИМ1. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zeim.ru/production/meo/meof-kim1/>, свободный. – Загл. с экрана.

45. ПЛК ЭЛСИ-ТМК. Программируемый контроллер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elesy.ru/products/products/plc.aspx> , свободный. – Загл. с экрана.

46. «Овен» ПЛК-73. Программируемый контроллер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen-prom.ru/katalog/?utm_source=demis-yandex&utm_medium=, свободный. – Загл. с экрана.

47. Siemens S7-200 Программируемый контроллер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

48. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

49. КонсультантПлюс. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 09.03.2021). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

50. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studbooks.net/>, свободный. – Загл. с экрана.

51. КонсультантПлюс. Приказ Минтруда России N 988н, Минздрава России N1420н от 31.12.2020 «Об утверждении перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные медицинские осмотры при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

52. Пожарная безопасность. Инструкция по охране труда для инженера АСУ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fire-declaration.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

53. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>, свободный. – Загл. с экрана.

54. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 22269-76. Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834>, свободный. – Загл. с экрана.

55. ТЕХЭКСПЕРТ. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901704046>, свободный. – Загл. с экрана.

56. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.1.006-84. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200272> , свободный. – Загл. с экрана.

57. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. ШУМ. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> , свободный. – Загл. с экрана.

58. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200059881>, свободный. – Загл. с экрана.

59. ТЕХЭКСПЕРТ. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901703281>, свободный. – Загл. с экрана.

60. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>, свободный. – Загл. с экрана.

61. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82*. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> , свободный. – Загл. с экрана.

62. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 30331.4-95. Электроустановки зданий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001338> , свободный. – Загл. с экрана.

63. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ Р 56257-2014. Характеристика факторов внешнего природного воздействия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118630> , свободный. – Загл. с экрана.

64. Воздействие производственного шума на организм рабочих. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://34.rospotrebнадзор.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

65. ТЕХЭСПЕРТ. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека

факторов среды обитания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> , свободный. – Загл. с экрана.

66. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200272>, свободный. – Загл. с экрана.

67. Повышенный уровень электромагнитных излучений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный. – Загл. с экрана.

68. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Introduction and Experimental studies and Designing the automatic process control system for the Fisher-Tropsch test bench

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ13	Виноградский Кирилл		

Руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Стрижак П.А.	д.ф.-м.н., профессор		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Гончарова Л.А.	к.п.н.		

Introduction

Automation of technological processes is one of the decisive factors in increasing productivity and improving working conditions. All existing and under construction industrial facilities are equipped in one way or another with automation facilities [1].

Automatic control system is a set of controlled object and automatic measuring and controlling devices, in which information processing, forming of commands and their transformation into the effects on the controlled object are carried out without human intervention.

The aim of automation is to increase productivity, improve product quality, optimize management, the elimination of humans from industries that are dangerous to health, increasing the reliability and accuracy of production, increasing convertibility and reducing the time of data processing.

This work includes the development of a system for pyrolysis of plant biomass in a Fischer-Tropsch reactor. At present, the problems associated with increasing energy consumption and climate change require more and more attention [1]. One important step in reducing pollution is the partial replacement of fossil fuels with renewable energy sources (RES). Biomass plays an important role in the necessary supply of energy demand among [2]. This type of fuel has a number of advantages, such as the variety of types, availability, rapid reproducibility, the possibility of continuous operation of plants, unlike plants based on alternative (wind, solar, etc.) renewable energy sources, as well as a large number of conversion technologies, such as combustion, gasification and pyrolysis [3]. The most common types of biomass for pyrolysis are wood [4], agricultural [5] and forestry waste [6], algae [7] and others. Biomass consists of three main components (cellulose, hemicellulose, and lignin) as well as many secondary components (e.g., inorganic substances). The crystalline glucose polymers in cellulose are held together rigidly as bundles of fibers, which provides the strength of the material. Amorphous polymers of various sugars in hemicelluloses glue the cellulose bundles together. Lignin is the main binder for

fibrous cellulose components, providing not only structural rigidity, but also protection against rapid fracture of cellulose fibers [8].

Obtaining mathematical expressions for predicting the pyrolysis process in the Fischer-Tropsch reactor.

The main objectives of the graduate qualification work are:

- review of literary sources;
- experimental study of the interaction process of a drop of multicomponent liquid fuel with a solid heated surface to test its performance in the conditions of the developed system.

- conducting a system analysis of the automation object;
- choosing the structure of the automated control system;
- development of the design documentation required for the system design:
 - structural scheme;
 - functional scheme;
 - order specification;
 - wiring diagram of external wiring;
 - circuit diagram of electrical principle of the automation cabinet;
 - the list of elements of the circuit diagram;
 - assembly drawing of automation cabinet

1. Experimental studies

At present, the problems associated with the growing consumption of energy resources and climate change require more and more attention [1]. One important step in reducing pollution is the partial replacement of fossil fuels with renewable energy sources (RES). Biomass plays an important role in the necessary supply of energy demand among [2]. This type of fuel has a number of advantages, such as the variety of types, availability, rapid reproducibility, the possibility of continuous operation of plants, unlike plants based on alternative (wind, solar, etc.) renewable energy sources, as well as a large number of conversion technologies, such as

combustion, gasification and pyrolysis [3]. The most common types of biomass for pyrolysis are wood [4], agricultural [5] and forestry waste [6], algae [7] and others. Biomass consists of three main components (cellulose, hemicellulose, and lignin) as well as many secondary components (e.g., inorganic substances). The crystalline glucose polymers in cellulose are held together rigidly as bundles of fibers, which provides the strength of the material. Amorphous polymers of various sugars in hemicelluloses glue the cellulose bundles together. Lignin is the main binder for fibrous cellulose components, providing not only structural rigidity, but also protection against rapid fracture of cellulose fibers [8].

Thermochemical conversion of biomass is realized by combustion [9,10], gasification [10,11] and pyrolysis [10,12]. Pyrolysis is a promising option for biomass conversion without oxygen, producing condensable volatiles in the form of resins, non-condensable gas, and carbon-rich residue in the temperature range of 300-600 °C [13]. In this type of conversion, heat transfer occurs through thermal conduction, convection, and radiation of coolants or heated reactor surfaces.

1.1. Literature review

The process of obtaining artificial liquid fuels and valuable chemical compounds based on non-oil feedstocks (coal, natural gas, biomass), proceeding with the participation of catalysts containing transition metals of group VIII, in which the synthesis of hydrocarbons from CO and H₂ occurs.

Synthesis gas for Fischer-Tropsch synthesis is usually produced by passing the hydrocarbon feedstock through primary and secondary reforming stages. The primary reforming is often carried out in tubular steam reforming units or heat exchange reforming units, while the secondary reforming is usually carried out in autothermal reforming units [14].

The units previously used in biomass and plastic pyrolysis studies are:

1. thermochemical, catalytic pyrolysis at an experimental nut shell pyrolysis unit.

Single-stage pyrolysis: the tube furnace was operated at 150-720 0C, heating rate 10 C/min. [15]. In two-stage pyrolysis (catalytic pyrolysis), another external furnace was installed and operated at isothermal temperature (500 or 700°C). Co/SiO₂ catalyst . The total purge gas flow rate was 200 ml/min (molar ratio of purge gas mixtures: N₂ /CO₂ = 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 and 100/0 [16]. Reactor chamber volume is 342.1 cm³ [16]. Fuel used: Rice straw (powder, less than 0.1 μm) 1.5±0.02 g [15], macadamia nut shells 1.5±0.02 g (powder, less than 355 μm) [16].

The reactor was a 90 cm long quartz tube (reactor body), which was placed in a tubular furnace used as an external heating source. The furnace has two heating zones, which are regulated independently. Vacuum fittings were installed to both ends of the tube for gas inlet and outlet. A gas mass flow controller was used to set the flow rate of CO₂ and N₂ gases. Micro-GC was an installation for controlling gaseous flows. Liquid constituents were fed into a condenser (filled with dichloromethane) submerged in cold water.

2. thermochemical pyrolysis, catalytic reforming on a fixed bed reactor.

Two-stage fixed bed reactor. Ar 100 ml/min was used for purging. First stage - pyrolysis reactor - heating to 7000 C at the rate of 100 C/min, then kept for 2 hours. The first stage (pyrolysis reactor)-heating to 300-500 0C. The second stage - the catalytic reactor (reforming) - heating at a speed of 10 C/min up to temperatures of 600-700 0C. The catalyst is based on biochar with the addition of Nickel.

Used fuel: wood chips (poplar, catalpa, pine, elm).

3. thermochemical and catalytic pyrolysis on a vertical two-layer unit for pyrolysis and decomposition of plastic

The reactor has two layers: the upper layer for pyrolysis of plastic and the lower layer for catalytic decomposition. The temperature of each was controlled and measured independently.

A bimetallic catalyst combining the active metals Fe and Ni. Two methods of catalyst synthesis: sol-gel and conventional wet impregnation (FeNi₁ and FeNi₂, respectively). 0.4 g of catalyst investigated three catalysis temperatures: 600, 700 and 800°C. N₂ 100 ml/min was the carrier gas. Then about 1 g of a plastic sample was

weighed and placed in the upper layer of the raw material, where the temperature was increased from room temperature to 500 °C at a rate of 15 °C/min. The total reaction time for each experiment was about 50 minutes.

Fuel used: Polypropylene plastic pellets 3 mm in size without any pretreatment.

1.2. Experimental methodology

Analysis of the cited works showed that the Fischer-Tropsch reactor, consisting of two heating stages, is suitable for our tasks, consisting in the need to obtain pyrolysis gas. Experimental unit allows to independently obtain gas in the first stage for further reaction with catalysts in the second stage. The result of the unit is to obtain biogas, biofuel and biochar.

Two muffle furnaces were taken as a basis for the designed unit, in which pipes with sealed ends were placed for tightness of the system. The ends were screwed into sockets for extracting the resulting gas. Heat exchangers are used to cool and condense first the moisture and then the biofuel.

This unit is universal because it can perform pyrolysis of the following fuels and mixtures: crop residues, wood, polyethylene, polystyrene, polypropylene.

At the initial moment of time in the muffle 1 the temperature of 600 °C is set. When the set temperature is reached, fuel on a special substrate is placed in muffle 1, which is further pyrolyzed. Synthesis gas is released. The resulting gas is evacuated with the help of pump 5, preliminarily passing through cooler 3, where heavy components and water are condensed. With the help of connector, which has four fittings, gas after the first stage is sampled for further analysis in a gas analyzer, the probe of which can be connected to connector a. The gas, leaving the pump 5 due to the system of check valves, enters the second stage muffle furnace 2. The temperature maintained in muffle 2 is 200 °C. For intake of reacted gas from muffle 2 the pump 6 is used, similarly as in the first and in the second stage gas passes through the cooler 4 for cooling and condensation of components. After the second stage, the gas can be withdrawn from the connection b.

1.3. Results and discussion

1.3.1. Temperature variation in the second stage

The experiments were performed at a constant temperature in the first stage of 600 °C and varying temperature in the second stage. To improve the quality of products (reduction of moisture, oxygen content and cracking of large aromatic structures with the formation of smaller ones) of pyrolysis and gasification, in particular pyrolysis oil, various additives - catalysts are used. For the chemical reaction of the generator gas with the catalyst in the reactor it is necessary to maintain a certain temperature. The range of temperatures used based on Fe and CO catalysts is given in. This section presents the results of experiments to determine the effect of temperature in the second stage of Fischer-Tropsch reactor on the characteristics of pyrolysis gas conversion products obtained in the first stage (before feeding the catalyst into the second reactor).

The peak concentrations were reached ≈ 500 s after the beginning of the experiment. It can be noted that the peak values for CH₄, CO, CO₂, and H₂ were 9.6, 19.8, 13.75, and 1.1%, respectively. A slight increase in the concentrations of CH₄, CO, CO₂, and H₂ was observed when the temperature at the second point was increased to 100°C. On average, gas concentrations increased by ≈ 10 -20%. The peak values were reached after ≈ 350 s after the beginning of measurement. Increasing the temperature to 200 °C, leads to a slight increase in concentrations of CO and CH₄ by ≈ 15 -20%. Carbon dioxide concentrations increased by 10-15%. At 300 °C, the peak values of CO and CH₄ concentrations were $\approx 21\%$ and 11%, respectively. The maximum value of CO₂ was about 14%. H₂ values did not exceed 1.1%. The maximum concentrations were reached after 370-390 s from the beginning of the experiment.

Increasing the temperature in the second muffle furnace has an effect on the concentrations of synthesis gas components. The greatest difference of 30-40% between the average values for different temperatures was recorded for such gases as

CO, CO₂, and CH₄. CO₂ emissions ranged from 4.6-6.1%, CO from 4.2-6.3%, H₂ from 0.39-0.6%, and CH₄ from 1.95-2.7%.

As the temperature in the second muffle furnace increases, the peak concentrations of combustible gases (CO, H₂, CH₄) increase. This feature indicates that the temperature in the second point allows to regulate the process of condensation of gas components during the movement along the gas pathway. As the temperature increased, the maximum concentrations for these gases increased in the range of 13 to 30%. The largest increase (about 30%) was noted for H₂ from 1.1% to 1.6%. The smallest increase (by 13%) was observed for CO, from 19.8% to 22.8%. The factor of temperature increase had no significant effect on the maximum CO₂ concentrations - values varied from 13.28% to 14.32%.

The longest separation time corresponded to the experiment at 20 °C, and the shortest time was at 300 °C. Increasing the temperature contributes to decreasing the reaction time. The results obtained are due to the increase of convective flow rate inside the second reactor. This is due to the fact that when the temperature increases, the speed of gases passing through the path of the unit increases. The mass of the solid residue varies within the margin of error because the fuel reacts in the first chamber and varying the temperature between 20 and 300 °C in the second reactor does not affect the mass yield of the solid product of sawdust conversion. The amount of liquid condensed tends to decrease with increasing temperature. Low temperature contributes to faster condensation (gas hydrogenation) of moisture from the gas.

1.3.2. Influence of catalysts on the performance of the Fischer-Tropsch reactor

Statement of the problem and motivation of the research

Additives - catalysts are used to increase the pyrolysis process efficiency and to extract higher quality products. In the Fischer-Tropsch reactor the products include synthesis gas components, paraffins, resins, methanol, etc. Thus, it is reasonable to evaluate the effectiveness of the use of catalysts in the first and second stages of the Fischer-Tropsch reactor. In the first stage synthesized gas is formed due to pyrolysis

of biomass, while the second stage produces liquid products and enriched synthesized gas relative to the first stage. Below are the results of experiments conducted with the established characteristics of the key products. Specialized additives (TiO_2 , ZrO_2 , NiO , Fe_2O , ZSM-5, Beta, etc.) are often used as catalysts [1]. Components of natural origin (egg shells, carbon residue, etc.) are often used [2,3] which can be both catalysts and absorbers. It is of interest to study the influence of natural catalysts/sinks from by-products and wastes of different industries. Two directions of using catalysts and absorbers are being developed: controlling the amount and component composition of the generator gas, obtaining liquid components of biofuels.

Results of experiments to determine the effect of absorber/catalyst type on the composition of the generator gas

The experiments showed that limestone is the most effective of the studied catalysts. At its use the share of obtained CO is maximal and was 52%. At addition of calcium the yield of H_2 and CO increased and concentrations of CO_2 and CH_4 decreased. At a sufficient temperature CO_2 is absorbed and eventually CaCO_3 sorbent is obtained. Insufficient temperature leads to desorption of CaCO_3 to calcium oxide CaO . In this case CaO plays the role of sorbent and catalyst, which gives an additional yield of H_2 .

During pyrolysis, water plays an important role in the reactions. Molecules under the action of microwaves start chaotic motion and collide, thereby releasing thermal energy. Varying the water quality showed that the use of distilled water increases the H_2 yield by 2% relative to the composition with tap water, the methane CH_4 value by 10%.

The high value of the solid residue equal to 72% and 56% for technical and tap water, respectively, due to their chemical composition, various mineral salts and organic impurities. Application of distilled water resulted in lower yield of solid residue (29%) because it is purified from the above-mentioned impurities.

Results of experiments to determine the effect of absorber/catalyst type on liquid biofuel components

Fischer-Tropsch synthesis involves hydrogenation of CO on a heterogeneous catalyst mainly to produce linear alkanes and alkenes. Catalysts based on Fe and Co have found industrial application [9]. At work of cobalt catalysts practically all oxygen from dissociation of CO is condensed in the form of liquid. In the case of iron catalysts, a significant part of oxygen from CO dissociation is obtained as CO₂.

Because of the high cost, the conditions for dispersion of cobalt catalysts on a prepared carrier are often intensified. Aluminum oxide, titanium dioxide or silicon dioxide are used as carriers. This results in a large metal surface area. Iron is more commonly used as a catalyst in Fischer-Tropsch synthesis. Such catalysts mainly contain 60% Fe and the second metal Cu is added as a reducing agent. Examples of catalyst preparation are given in [9]. Iron oxides are not active for synthesis, and an activation stage is required to obtain the active form of the catalyst. Metallic iron is not stable in the presence of CO at typical Fischer-Tropsch reaction temperatures and is easily converted to iron carbide during activation or Fischer-Tropsch synthesis.

Several key conclusions are formulated:

1. The addition of FeO catalyst had the greatest influence on the intensification of pyrolysis products yield. The concentrations of the main components of synthesized gas increased compared to the experiments with air: H₂ - 3 times, CH₄ - 3.5 times, CO - 1.5 times. At the same time the process of intensive pyrolysis started earlier and finished 30% faster in total time. The mass of the liquid synthesis product increased 1.5 times. The catalyst was added to the second tube, which received synthesis gas from the first tube (stage). This catalyst intensified the reactions leading to an increase in the concentration of H₂, CH₄, and CO. Since the concentration of CO₂ changed insignificantly relative to the experiments without the catalyst, and the mass of the liquid product increased, we can conclude about intensive hydrogenation of CO.

2. Also significant increase of synthesis gas concentrations was registered in experiments with Fe catalyst - concentrations of H₂ and CH₄ increased by 2 times, and the volume of liquid increased by 1.5 times. CO concentrations practically did

not change. This is due to the fact that oxygen was actively displaced by the products of thermal decomposition. It was absent in the catalyst.

3. Application of CuO catalyst resulted in less significant changes in the characteristics of Fischer-Tropsch synthesis. The concentrations of H₂ and CH₄ increased 1.5-fold, and the liquid volume increased 1.2-fold. This result illustrates the lower activity of Cu compared to Fe as a catalyst.

4. Application of mixture of catalysts (FeO+CuO) allowed to receive non-additive changes of concentrations of synthesis products. It was expected that adding two catalysts in equal proportions would lead to some average values of mass and concentrations of products relative to experiments with each catalyst separately. But the results showed that mixing FeO and CuO is not rational. Less active CuO limits the influence of FeO because the activated surface area of FeO powder (powder granules mixed with CuO) is reduced. It is rational to use one catalyst to increase the efficiency of the synthesis (potentially additional absorbers can be used to control the aggregate characteristics).

5. The use of H₂SO₄ catalyst makes it possible to intensify the synthesis at an early stage in both the first and the second stages of the Fischer-Tropsch reactor and significantly increase its duration with limited amplitude values of the main gas products. At the same time, the mass of the liquid product of the synthesis increased 3-fold relative to the experiments without a catalyst.

6. The established values of key characteristics of the thermal decomposition of biomass in the reactor, as well as the production of liquid components of biofuels allowed to form the basis for the development of physical and mathematical models. This is extremely important, since with the use of adequate models it is possible to study the conditions of all synthesis stages at scales and ranges of variation of key input parameters that are inaccessible to experiments, but promising in practice. These models and theoretical values of key characteristics obtained using them are given further in the project report.

2. Designing the automatic process control system for the Fisher-Tropsch test bench

2.1. System analysis of the automation object

As the object of automation in this paper, I have chosen a laboratory bench designed to study the pyrolysis process of composite biomass.

The process of laboratory unit operation consists of several stages. At the first stage the preheated biofuel is fed into the first stage up to 600 °C. Biofuel falls on the lattice surface located in the center of the reactor. Under the influence of high temperatures, the main biofuel components cellulose hemicellulose and lignin begin to decompose, forming synthesis gas.

The second stage consists in supplying synthesis gas from the first reactor by means of a compressor to the second stage.

Temperature sensors are installed at characteristic control points of the parameters under study. The surface temperature in the first reactor and in the second reactor is measured.

List of sources used

1. I.E. Agency, Key World Energy Statistics 2020, Int. Energy Agency. (2020).
2. IEA, Key World Energy Statistics 2021 – Statistics Report, IEA Publ. (2021).
3. G.S. Nyashina, M.A. Kurgankina, P.A. Strizhak, Environmental, economic and energetic benefits of using coal and oil processing waste instead of coal to produce the same amount of energy, Energy Convers. Manag. (2018). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.048>.
4. M.A. Dmitrienko, P.A. Strizhak, Y.S. Tsygankova, Technoeconomic Analysis of Prospects of Use of Organic Coal-Water Fuels of Various Component Compositions, Chem. Pet. Eng. (2017). <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0321-y>.
5. G.S. Khodakov, Coal-water suspensions in power engineering, Therm. Eng. (2007). <https://doi.org/10.1134/S0040601507010077>.
6. A.D. Nikitin, G.S. Nyashina, A.F. Ryzhkov, P.A. Strizhak, Anthropogenic emissions from the combustion of composite coal-based fuels, Sci. Total Environ. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144909>.
7. M.R. Akhmetshin, G.S. Nyashina, P.A. Strizhak, Comparative analysis of factors affecting differences in the concentrations of gaseous anthropogenic emissions from coal and slurry fuel combustion, Fuel. (2020). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117581>.
8. G.S. Nyashina, G. V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, Effects of plant additives on the concentration of sulfur and nitrogen oxides in the combustion products of coal-water slurries containing petrochemicals, Environ. Pollut. (2020). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113682>.
9. 98/01152 Preparation of coal-water slurry fuels from impounded bituminous coal fines, Fuel Energy Abstr. (1998). [https://doi.org/10.1016/s0140-6701\(98\)97294-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6701(98)97294-0).

10. 97/02667 Role of mineral matter in coal in the preparation of highly loaded coal-water slurry fuels, *Fuel Energy Abstr.* (1997). [https://doi.org/10.1016/s0140-6701\(97\)84550-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6701(97)84550-x).
11. M. Prasad, B.K. Mall, S.K. Basu, A. Mukherjee, S.K. Verma, K.S. Narasimhan, Preparation of high concentration coal-water slurry fuel by single-step wet grinding, in: *Proc. Int. Tech. Conf. Coal Util. Fuel Syst.*, 1997. [https://doi.org/10.1016/s0140-6701\(97\)80833-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6701(97)80833-8).
12. D. Yao, H. Zhao, Z. Chen, H. Liu, Preparation of high concentration coal water slurry with good fluidity based on only modified fine particles under bimodal distribution using the second fluid and the second particle, *Fuel.* (2022). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123461>.
13. G.G. Baker, R.E. Sears, D.J. Maas, T.A. Potas, W.G. Willson, S.A. Farn, Hydrothermal preparation of low-rank coal-water fuel slurries, *Energy.* (1986). [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(86\)90064-2](https://doi.org/10.1016/0360-5442(86)90064-2).
14. D. Das, S.K. Das, P.K. Parhi, A.K. Dan, S. Mishra, P.K. Misra, Green strategies in formulating, stabilizing and pipeline transportation of coal water slurry in the framework of WATER-ENERGY NEXUS: A state of the art review, *Energy Nexus.* (2021). <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100025>.
15. Y. Wei, J. Wang, Preparation of commercially applicable slurry fuels from rapid hydrogasification char by blending with coal, *Fuel Process. Technol.* (2016). <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.11.008>.
16. D. Gvozdyakov, A. Zenkov, Influence of petrochemicals on jet characteristics after coal-water fuel spraying, *Fuel Process. Technol.* (2021). <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106864>.