

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

Кафедра ХТТ и ХК

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Исследование каталитической активности промотированных ультрадисперсных порошков железа в синтезе жидких углеводородов по методу Фишера-Тропша	

УДК 544.478

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Литвинова Анжела Евгеньевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент. каф. ХТТ и ХК	Попок Евгений Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

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

Институт Природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 18.03.01 Химическая технология, специализация
Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

<i>Бакалаврской работы</i>

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д2В	Литвинова Анжела Евгеньевна

Тема работы:

<i>Исследование каталитической активности промотированных ультрадисперсных порошков железа в синтезе жидких углеводородов по методу Фишера-Тропша</i>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от <u>11.03.2016 г. №1749/с</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23 мая 2016 г.
--	----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (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,	Электровзрывные катализаторы на основе железа и оксида алюминия для синтеза углеводородного сырья из (CO + H ₂), полученные в атмосфере различных газов (CO, CO ₂ , N ₂): • исследование каталитической активности образцов катализатора при различных соотношениях реагентов в исходном газе; • Определение общей степени конверсии монооксида углерода, определение степени конверсии в жидкие углеводороды. • качественный и количественный анализ
--	--

энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	полученных жидких продуктов синтеза методом хроматографии
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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).	Аналитический обзор по использованию нетрадиционных катализаторов (электровзрывных, плазмохимических) в синтезе углеводородного сырья. Обзор реализованных в промышленности технологий синтеза углеводородов из СО и Н ₂ .
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Конструкции реакторных устройств, реализованных в промышленности
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна, Кафедра менеджмента, доцент, к.э.н.
Социальная ответственность	Ахмеджанов Рафик Равильевич, Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности, профессор, д.б.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03.2016
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент. каф. ХТТ и ХК	Попок Е.В.	к.т.н.		14.03.16 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д2В	Литвинова А.Е.		14.03.16 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ООП 18.03.01)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), CDIO(п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2), CDIO (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), CDIO (1.2, 2.1, 4.5)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), CDIO (п. 2.2)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) CDIO (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), CDIO (п. 2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), CDIO (п. 2.4)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) CDIO (п. 4.7, 4.8, 3.1)

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 86 с., 4 рис., 28 табл., 55 источников литературы, 1 прил.

Ключевые слова: синтез Фишера-Тропша, ультрадисперсный порошок железа, синтез-газ, промотор, катализатор, оксид алюминия, углеводородный состав, каталитическая активность.

Объектом исследования является ультрадисперсный порошок железа, промотированный оксидом алюминия. Образцы ультрадисперсного железного порошка для исследования были получены методом электрического взрыва проводника.

Цель работы – изучение каталитической активности в синтезе жидких углеводородов промотированного оксидом алюминия ультрадисперсного порошка железа, полученного методом электрического взрыва проводника.

Методология проведения исследования: полученные методом электрического взрыва ультрадисперсные порошки подвергали прессованию со связующим с использованием матрицы Пуансона. Полученные образцы катализатора испытывались на лабораторной каталитической установке. Жидкие продукты синтеза анализировались на капиллярном газовом хроматографе.

В процессе исследования проводились эксперименты по изучению влияния промотирования ультрадисперсного железного порошка оксидом алюминия на каталитическую активность катализатора, углеводородный состав продуктов синтеза и выход побочных продуктов.

В результате исследования было изучено влияние промотора оксида алюминия на активность катализатора, выход кислородсодержащих соединений и побочных продуктов, а также групповой состав жидких продуктов.

Степень внедрения: находится на стадии исследования.

Оглавление

Введение	8
1 Литературный обзор.....	11
1.1 Теоретические основы синтеза Фишера-Тропша	11
1.2 Катализаторы синтеза Фишера-Тропша	16
1.3 Реакторы синтеза Фишера-Тропша	22
1.4 Промышленное освоение синтеза Фишера-Тропша	25
2 Экспериментальная часть	27
2.1 Объект и методы исследования	27
2.2 Проведение эксперимента и анализ полученных результатов	33
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	39
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	39
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	40
3.1.3 SWOT-анализ.....	41
3.2 Планирование научно-исследовательских работ	45
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	45
3.2.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	46
3.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ	46
3.2.4 Разработка графика проведения научного исследования	48
3.2.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	49
3.2.5.1 Расчет материальных затрат НТИ	50
3.2.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для проведения экспериментальных работ.....	50
3.2.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы	51
3.2.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	53
3.2.5.5 Накладные расходы	54
3.2.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	55
3.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	56
4 Социальная ответственность	59
4.1 Производственная безопасность	59

4.1.2 Характеристика факторов рабочего места	59
4.1.2 Характеристика получаемых веществ.....	63
4.1.3 Мероприятия по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	66
4.2 Экологическая безопасность	70
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
4.3.1 Анализ возможных чрезвычайных ситуаций при работе в лаборатории ...	71
4.3.2 Мероприятия по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций	73
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75
Заключение	78
Список литературы	79
Приложение А	85

Введение

Исчерпывающее использование ископаемого топлива является одной из главных причин глобального потепления, приводящего к изменению климата. Во всем мире потребление энергии в транспортном секторе занимает второе место в промышленном секторе с точки зрения валового конечного потребления энергии. Текущее использование ископаемого топлива в различных секторах по-прежнему угрожает экологической стабильности во всем мире. Альтернативные источники энергии необходимы из-за ограниченных запасов ископаемого топлива и его негативного воздействия на окружающую среду при использовании. Выбросы при сжигании ископаемого топлива для выработки тепла, электроэнергии и транспортировки являются главными источниками парниковых газов в атмосфере.

Текущий глобальный энергетический сценарий и аспект ухудшения состояния окружающей среды мотивирует к поиску альтернативных способов получения жидких топлив высоких экологических стандартов.

В настоящее время синтез Фишера-Тропша (ФТ) является одним из возможных путей получения высококачественных не содержащих серу моторных топлив из природного газа, а также как к одному из методов утилизации попутного нефтяного газа месторождений удаленных от газотранспортных сетей и газоперерабатывающих заводов. Данный процесс также можно рассматривать как один из возможных путей переработки угля и биомассы. При использовании в двигателях внутреннего сгорания топлива, полученные в результате проведения процесса Фишера-Тропша, демонстрируют более низкие уровни выбросов по сравнению с бензином и дизельным топливом, полученными при переработке традиционной нефти. Это можно объяснить тем, что топливо ФТ содержит небольшое количество ароматических соединений, не содержит серы и азотсодержащих соединений.

Применительно для российской нефтедобывающей промышленности синтез Фишера-Тропша может послужить вариантом монетизации попутного

нефтяного газа, который по настоящее время сжигается на факельных установках. В настоящее время сжигание попутных нефтяных газов месторождений является одной из наиболее острых и актуальных проблем нашей страны. Ежегодно в России на факельных установках сжигаются миллиарды кубометров попутного нефтяного газа (ПНГ). При сжигании ПНГ в атмосферу выделяется большое количество загрязняющих веществ, что значительно ухудшает экологическую обстановку как в регионе нефтедобычи, так и в стране в целом. Попутный нефтяной газ также является ценным химическим сырьем и энергоресурсом, поэтому его нерациональное использование ведет к необоснованным экономическим потерям. Перед нефтяными компаниями возникает необходимость в эффективном использовании ПНГ. Одним из путей при решении проблемы утилизации попутного нефтяного газа является применение GTL (*gas-to-liquid*) – технологии по переводу газа в жидкое состояние, в частности синтез Фишера-Тропша.

На данный момент российские институты и компании находятся на этапе разработки опытных и стендовых установок, а также активных катализаторов для получения синтетических углеводородов методом Фишера-Тропша.

Целью данной выпускной квалификационной работы являлось изучение каталитической активности промотированного оксидом алюминия ультрадисперсного порошка железа, полученного методом электрического взрыва проводника.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: получение гранул катализатора, пригодных для исследований методом прессования со связующим; исследование каталитической активности полученных образцов катализатора на лабораторной каталитической установке; хроматографический анализ получаемых продуктов.

Практической значимостью работы является разработка готовых к промышленному внедрению каталитических систем синтеза жидких углеводородов по методу Фишера-Тропша

Основные результаты по теме выпускной квалификационной работы были представлены на XX Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А.Усова «Проблемы геологии и освоения недр», г.Томск; XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке» имени профессора Л.П. Кулёва, посвященной 120-летию Томского политехнического университета г.Томск; VI Молодежной научно-технической конференции «Наукоемкие химические технологии-2015», г.Москва.

1 Литературный обзор

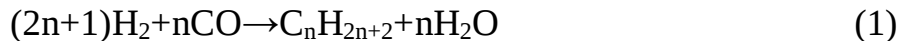
1.1 Теоретические основы синтеза Фишера-Тропша

Синтез Фишера-Тропша позволяет получать широкий спектр углеводородов из CO и H₂. Это сложный гетерогенно-каталитический процесс, в котором в качестве катализаторов используются переходные металлы VIII группы (Fe, Co, Ni, Ru). В зависимости от используемых катализаторов, условий проведения процесса возможен синтез углеводородов – от метана до тяжелых парафинов.

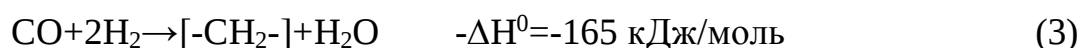
В настоящее время в промышленности наибольшее распространение получили кобальтовые и железные катализаторы, ввиду их доступности, невысокой стоимости и высокой активности в синтезе жидких углеводородов по методу Фишера-Тропша.

Основные реакции, протекающие в синтезе Фишера-Тропша, можно описать следующими уравнениями в общем виде [1]:

для кобальтового катализатора:



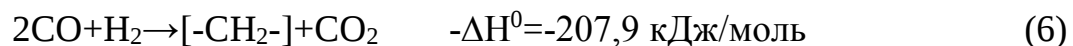
Суммарную реакцию на кобальтовом катализаторе можно представить уравнением:



для железного катализатора:



Суммарная реакция на железном катализаторе:



Побочными реакциями процесса независимо от используемого катализатора являются:

1) Метанирование CO:



Реакция метанирования характерна преимущественно для кобальтовых и никелевых катализаторов, в то время как железные катализаторы обладают невысокой гидрирующей способностью и выход нежелательного метана на данных катализаторах значительно меньше.

2) Равновесие водяного газа:



Реакция равновесия водяного газа в большей степени характерна для железных катализаторов [2]. Данную реакцию можно подавлять уменьшением температуры синтеза, времени контакта, циркуляцией синтез-газа и удалением воды из циркулирующего газа.

3) Реакция Будуара:



Последняя реакция (9) может привести к дезактивации катализатора за счет блокирования активных центров углеродистыми отложениями [3].

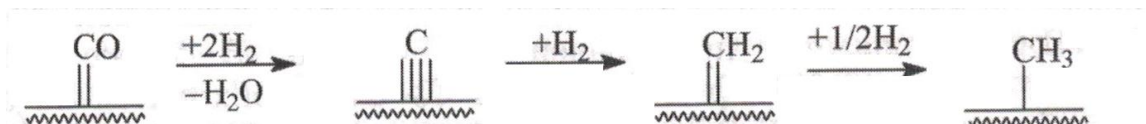
Механизмам синтеза Фишера-Тропша посвящено значительное количество работ [4-10], однако по настоящее время все механизмы носят вероятностный характер. Процесс ФТ представляет собой большое количество последовательно и параллельно протекающих реакций. К числу общепринятых механизмов на промышленных кобальтовых и железных катализаторах, объясняющих, как и из каких мономеров, образующихся из синтез-газа, в результате протекания полимеризационных или поликонденсационных превращений синтезируются парафины, олефины и спирты различного строения и молекулярной массы. Выделяют следующие основные механизмы синтеза Фишера-Тропша:

- карбидный;
- внедрения CO;
- оксиметиленовый.

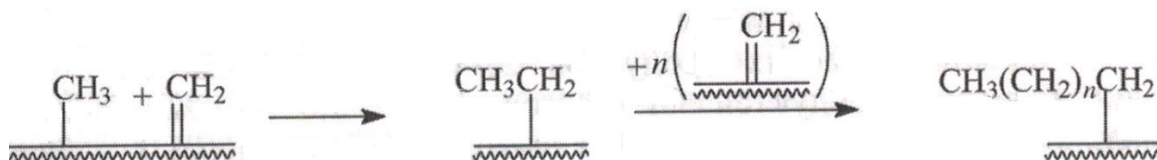
Общим для указанных механизмов является наличие у них трех стадий образования продуктов: инициирования цепи; роста цепи и обрыва цепи с десорбцией продуктов с катализатора в объем реактора.

1) Карбидный механизм:

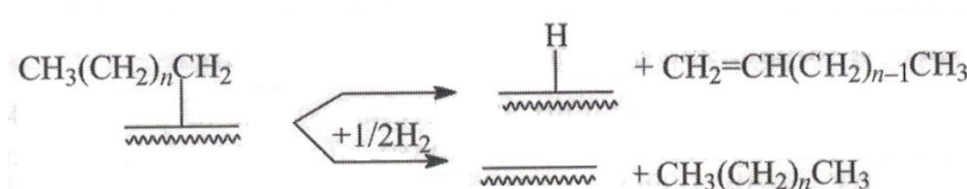
На стадии инициирования из адсорбированной молекулы CO образуется карбид металла-катализатора, который гидрируется водородом в метилен (карбен) $=CH_2$, являющийся мономером:



На стадии роста углеродной цепи молекул будущих ФТ-продуктов мономер олигомеризуется с образованием интермедиата $CH_3(CH_2)_nCH_2-$:



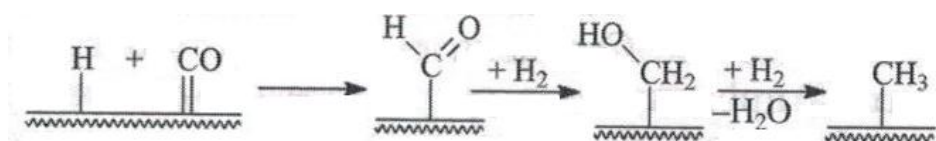
Растущая углеродная цепь обрывается на стадии обрыва с получением парафинов и олефинов:



Таким образом, карбидный механизм объясняет образование в ФТ-синтезе углеводородов. Недостаток карбидного механизма состоит в том, что он не объясняет получение в ФТ-синтезе синтетических спиртов и других кислородсодержащих продуктов.

2) Механизм внедрения CO:

Стадия инициирования состоит во внедрении молекулы CO по связи водород -металл катализатора с образованием алкильного интермедиата (CH_3-) :

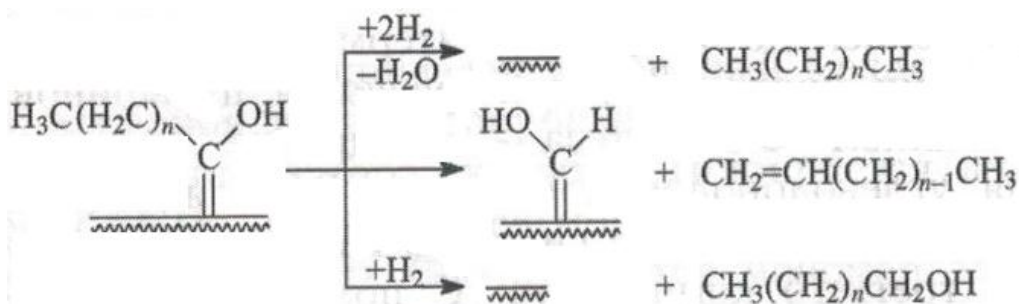


$$\begin{array}{ccccccc} \text{CH}_3 + \text{CO} & \xrightarrow{\quad} & \text{CH}_3\text{C}(=\text{O}) & \xrightarrow{+\text{H}_2} & \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH}) & \xrightarrow[-\text{H}_2\text{O}]{+\text{H}_2} & \text{C}_2\text{H}_5 + n(\text{CO} + \text{H}_2) \\ | & & | & & | & & | \\ \text{---} & & \text{---} & & \text{---} & & \text{---} \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 \text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{OH} \\
 | \\
 \text{CH} \\
 | \\
 \text{---}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \xrightarrow[+\text{H}_2]{-\text{H}_2\text{O}} \begin{array}{c} (\text{CH}_2)_n\text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_2 \\ | \\ \text{---} \end{array} \\
 \xrightarrow{+1/2\text{H}_2} \text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{CH}_2\text{OH}
 \end{array}$$

3) Оксиметиленовый (енольный) механизм:

$$\begin{array}{c} \text{CO} \\ \parallel \\ \text{---} \end{array} \xrightarrow{+\text{H}_2} \begin{array}{c} \text{HO} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \\ \parallel \\ \text{---} \end{array}$$
$$\begin{array}{c}
 \text{H} \quad \boxed{\text{OH} \quad \text{H}} \quad \text{OH} \\
 | \quad \quad | \quad \quad | \\
 \text{C} \quad \quad \text{C} \quad \quad \text{C} \\
 | \quad \quad | \quad \quad | \\
 \text{---} \quad \quad \text{---} \quad \quad \text{---}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{c}
 \text{H} \quad \text{OH} \\
 | \quad | \\
 \text{C} \quad \text{C} \\
 | \quad | \\
 \text{---} \quad \text{---}
 \end{array}
 \xrightarrow{-\text{H}_2\text{O}}
 \begin{array}{c}
 \text{H} \quad \text{OH} \\
 | \quad | \\
 \text{C} \quad \text{C} \\
 | \quad | \\
 \text{---} \quad \text{---}
 \end{array}
 + \text{H}_2
 \rightarrow
 \begin{array}{c}
 \text{H}_3\text{C} \quad \text{OH} \\
 | \quad | \\
 \text{C} \quad \text{C} \\
 | \quad | \\
 \text{---} \quad \text{---}
 \end{array}
 + n \left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \\ | \quad | \\ \text{C} \quad \text{C} \\ | \quad | \\ \text{---} \quad \text{---} \end{array} \right) n\text{H}_2
 \xrightarrow{-n\text{H}_2\text{O}}
 \begin{array}{c}
 \text{HO} \quad \text{---} \quad \text{---} \\
 | \quad | \\
 \text{C} \quad \text{C} \\
 | \quad | \\
 \text{---} \quad \text{---}
 \end{array}
 (\text{CH}_2)_n \text{CH}_3$$



Оксиметиленовый механизм наиболее полно учитывает имеющийся в литературе массив экспериментальных данных, полученных на промышленных Co- или Fe-содержащих гетерогенных катализаторах, в ходе исследования кинетики синтеза, реакций изотопного обмена, молекулярно-массовое распределение (ММР) синтетических продуктов, включая ММР продуктов модифицированных ФТ-синтезов.

На основании всего выше сказанного сведем имеющуюся информацию о предполагаемых механизмах Фишера-Тропша в единую таблицу 1.

Таблица 1 – Механизмы синтеза Фишера-Тропша

Механизм	Мономер	Инициатор	Продукты	Замечания
Карбидный	FCH_2	FCH_3	α -олефины, н-парафины	Не объясняет образование изо-парафинов и оксигенатов
Енольный	$\text{F}=\text{C} \begin{smallmatrix} \text{H} \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$	$\text{F}=\text{C} \begin{smallmatrix} \text{CH}_3 \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$	альдегиды, спирты, α -олефины	Невозможно объяснить образование н-парафинов
Внедрения CO	$\text{F}=\text{CO}$	FCH_3	альдегиды, спирты, α -олефины, н-парафины	Основной путь образования кислородсодержащих соединений ФТ

Длина углеводородной цепи при синтезе Фишера-Тропша распределена статистически по закону Андерсона-Шульца-Флори и имеющему вид [11]:

$$w_i = i(1 - \alpha)^2 \alpha^{i-1}, \quad (10)$$

где i – число атомов углерода в цепи; w_i – весовая доля цепей длиной i ; α – вероятность продолжения роста цепи, $(1 - \alpha)$ – вероятность прекращения роста цепи.

При использовании никельсодержащего катализатора величина α оказывается малой, так что продуктом синтеза является в основном метан. Для классического катализатора Фишера-Тропша – железа $\alpha = 0,65—0,70$, так что максимум приходится на бензиновую фракцию, а при использовании катализатора из кобальта, для которого α лежит между 0,75 и 0,85 продуктом синтеза являются длинноцепочечные углеводороды.

1.2 Катализаторы синтеза Фишера-Тропша

В 1920 г. немецкие ученые Франц Фишер и Ганс Тропш начинают активные исследования катализаторов для синтеза жидких углеводородов из CO и H₂ [12]. Изучались осажденные на носителях, скелетные и сплавленные катализаторы. На сегодняшний день работы по получению активных катализаторов синтеза Фишера-Тропша ведутся многими компаниями и исследовательскими центрами по всем миру.

Из всего многообразия катализаторов, как уже отмечалось ранее, четко выделяются металлы VIII группы – железо, кобальт, никель и рутений, которые оказались наиболее активными в синтезе углеводородов. Синтез, по-видимому, включает хемосорбцию CO и H₂ на поверхности катализатора, поэтому образованию хемосорбционной связи должно способствовать наличие у металла незаполненной d -орбитали. Только при этом электронном состоянии каталитически активные металлы могут взаимодействовать с синтез-газом и адсорбировать или хемосорбировать его компоненты.

При синтезе над Co- и Fe-катализаторами первичными продуктами являются исключительно α -олефины. Вследствие своей высокой реакционной способности они затем превращаются во вторичные продукты за счет гидрирования, роста цепи, крекинга и изомеризации. Самой быстрой из перечисленных является реакция гидрирования, причем скорость ее растет с

увеличением молекулярной массы олефина. При получении олефинов реакция гидрирования является побочной, и в таком случае следует использовать катализаторы, не содержащие Co или Ni, а содержащие Fe, Mn, Cr, V или Ti.

В состав катализатора помимо основного (базового) металла входят также различные добавки – промоторы. По принципу действия их подразделяют на структурные и энергетические [13]. Структурные промоторы способствуют образованию развитой поверхности катализатора и препятствуют рекристаллизации его активной фазы. В качестве таких промоторов чаще всего используют трудно восстанавливаемые оксиды – Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 , MgO и CaO . Для осажденных катализаторов аналогичную роль играют также носители – кизельгур, доломит, диоксид кремния, цеолиты, алюмосиликат. Энергетические промоторы увеличивают скорость реакции и влияют на ее селективность.

Для железных катализаторов особенно эффективными модифицирующими добавками являются соли щелочных металлов. Например, добавка 0,2–1% (масс.) K_2CO_3 (по отношению к железу) почти вдвое повышает теплоту хемосорбции CO, что приводит к увеличению количества адсорбированного CO. В то же время количество адсорбированного водорода и теплота его хемосорбции уменьшаются. Это приводит к следующему:

- 1) скорости реакций с участием CO (синтез, конверсия и реакция Будуара) увеличиваются;
- 2) ускоряется зарождение и рост цепей;
- 3) подавляется метанообразование;
- 4) содержание олефинов в продуктах реакции увеличивается.

Современные катализаторы Фишера-Тропша обычно представляют собой сложные системы, состоящие из нескольких компонентов, которые обладают высокой активностью и селективностью в образовании синтетических жидких углеводородов. Так, канадские ученые совместно с коллегами из иранского «Научно - исследовательского института нефтяной промышленности» рассмотрели возможность применения углеродных нанотрубок в качестве

носителя для кобальтового катализатора, промотированного в свою очередь рутением и калием [14]. В ходе проведенного исследования было установлено, что применение углеродных нанотрубок значительно увеличивает удельную поверхность катализатора за счет равномерного распределения металлических частиц как на поверхности трубок, так и внутри них. Оба промотора (Ru и K) увеличили селективность в образовании углеводородов более тяжелого молекулярного веса. Селективность образования углеводородов C_{5+} составила 85%. Следует также отметить, что Ru-промотор увеличивает дисперсию и уменьшает средние размеры кластеров кобальта.

Свойства промотированных рением кобальтовых катализаторов были изучены в работе [15]. Добавление рения к кобальтовому катализатору привело к увеличению активности и селективности в отношении образования алифатических жидких и твердых углеводородов различного строения, также это позволило уменьшить температуру синтеза до 190–200 °С. Такое влияние связано с увеличением степени восстановления и дисперсности металлического кобальта, что приводит к росту числа активных центров на поверхности катализатора.

Активный Mn-Fe катализатор для синтеза олефинов из синтеза-газа был разработан в Саудовской Аравии в Университете Найрана. Был исследован $MnO_2-Fe_2O_3$ катализатор, приготовленный методом соосаждения [16]. Результаты исследований показали, что Mn-Fe катализатор проявляет высокую каталитическую активность и высокую селективность в синтезе олефинов при низком давлении. Использование Mn-Fe катализатора планируется в каталитической конверсии полученного из биомассы синтез-газа в олефины.

Влияние щелочных и щелочноземельных металлов на структуру и каталитические свойства катализаторов на основе железа было изложено в ряде работ [17-21]. Установлено, что Mg, La и Ca-промоторы повышают поверхностную активность катализатора в порядке $Ca > Mg > La$. Соответствующее количество этих промоторов в атомном соотношении $X/Fe =$

0,02 ($X = \text{Ca}, \text{Mg}$ и La) , может способствовать снижению образования углеродистых отложений на поверхности катализаторов как в процессе восстановления, так и в ходе самой реакции синтеза Фишера-Тропша в порядке $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{La}$. Представленные промоторы могут ингибировать способность катализаторов к реакциям гидрирования, подавляют метанообразование, результаты также показывают, что определенное количество этих промоторов улучшают конверсию CO , повышают селективность в образовании олефинов и продуктов с более высокой молекулярной массой.

Адсорбция иона щелочного металла на восстановленном железе облегчается электронодонорным влиянием атома Fe , находящегося рядом с адсорбируемой частицей. Таким образом, при хемосорбции CO сильнее воздействуют электроны из $3d$ -зоны, которые ослабляют связь $\text{C}-\text{O}$. Так как водород при хемосорбции отдает электроны железу, то щелочной металл, отдающий электроны, тоже ослабляет связь $\text{Fe}-\text{H}$. Добавка щелочных соединений увеличивает количество хемосорбированного оксида углерода и снижает количество хемосорбированного водорода. Теплота хемосорбции CO повышается даже на 100%, в то время как теплота хемосорбции водорода снижается [22] только в малой степени.

В результате введения щелочной добавки снижается работа выхода электрона с поверхности катализатора. С помощью фотоэмиссионного электронного микроскопа установлено, что работа выхода электрона из Fe снижается только в тех местах, на которых адсорбированы соли щелочного металла [23]. Для Na , K , Rb и Cs промотирующее действие при эквимольной концентрации добавки почти одинаково.

Благодаря такому действию щелочных промоторов (особенно на адсорбцию CO) повышаются скорости хемосорбции и образования первичного комплекса, а также скорость всех реакций, протекающих с расходом CO (синтез, конверсия водяного газа, образование карбида железа и углерода). Это тоже ускоряет рост цепи. Благодаря этому спектр распределения ФТ-продуктов сдвигается в сторону соединений с большим числом атомов углерода.

Подавление адсорбции водорода уменьшает долю реакций гидрирования. Вследствие этого снижается метанообразование, повышается содержание олефинов в ФТ-продуктах и усиливается образование кислородсодержащих соединений.

К промоторам, обуславливающим и электронное и энергетическое влияние, можно отнести медь. В имеющейся литературе о процессах синтеза на основе СО и Н₂ хорошо описано взаимное влияние промоторов меди и калия на активность железного катализатора. Медь облегчает восстановление железа, причем этот процесс в зависимости от количества меди может протекать при температуре, более низкой (вплоть до 150 °С), чем без добавки. Далее эта добавка при сушке гидроксида железа (II и III) способствует окислению его до Fe₂O₃. Медь благоприятствует образованию соединений железа с углеродом и вместе со щелочью ускоряет восстановление железа, образование карбида и углерода. На селективность ФТ-синтеза медь не влияет [24].

В статье [25] говорится о возможности получения высших спиртов из синтез-газа, обедненного водородом, полученного газификацией биомассы на Cu-Fe катализаторе, промотированного калием. Проведение исследований такого рода свидетельствует о широкой сырьевой базе процесса ФТ и возможности получения широкого ассортимента продукции, путем изменения состава катализатора и условий проведения синтеза.

Поскольку синтез Фишера-Тропша включает в себя большое число реакций, катализатор должен удовлетворять целому набору требований. Наибольшую важность при этом имеют распределение полученного с данным катализатором продукта по молекулярным весам, степень ветвления молекул, содержание двойных связей окисленных молекул. Принципиальную важность составляют низкая селективность катализатора по отношению к образованию метана, высокая активность в конверсии водяного газа, обеспечивающая наиболее полное использование СО. Важна также низкая селективность катализатора по отношению к образованию углерода, которое приводит к снижению активности катализатора.

Рутениевые катализаторы очень активны в синтезе Фишера-Тропша, но и слишком дороги для промышленного использования. На никелевом катализаторе синтезируется преимущественно метан, так что он используется в основном для удаления следовых количеств CO в H₂.

Синтез Фишера-Тропша лежит в основе процесса превращения биомассы в жидкое топливо. В статье [26] приводится сравнительный анализ катализаторов на основе кобальта и железа для процесса BTL (Biomass-to-Liquid). Производительность катализаторов на основе кобальта в настоящее время выше, чем у катализаторов на основе железа. Тем не менее, катализаторы на основе железа могут быть более привлекательным вариантом для BTL-процесса, так как они намного дешевле, что в конечном итоге влияет на стоимость всего процесса в целом.

При выборе катализатора учитывается его стоимость, устойчивость к потере активности и ассортимент получаемых продуктов. На кобальтовых катализаторах, обладающих высокой гидрирующей способностью, получают в основном среднестиллятные фракции в сравнении с железными, но кобальтовые катализаторы не способны работать при низких соотношениях CO : H₂ с высокой степенью конверсии CO и низким выходом CH₄. Основными преимуществами железных катализаторов являются:

- Низкое метанообразование при высоких температурах;
- Возможность получения олефинов;
- Невысокая стоимость катализатора;
- Возможность работать при низких соотношениях CO: H₂;
- Высокий выход изопарафинов.

Таким образом, катализаторы на основе железа не уступают катализаторам на основе кобальта и являются наиболее предпочтительными для промышленного использования из-за невысокой стоимости и доступности.

В настоящий момент наибольший интерес в качестве катализаторов синтеза жидких углеводородов представляют высокодисперсные порошки

металлов. В мире активно ведутся исследования о влиянии размера частиц катализатора Фишера-Тропша на его активность и селективность в образовании тех или иных продуктов синтеза. Исходя из результатов экспериментов, проведенных в работах [27-32], можно утверждать, что за счет уменьшения размера частиц катализатора значительно увеличиваются скорости реакций синтеза Фишера-Тропша; уменьшается соотношение олефинов к парафинам из-за более высокой скорости адсорбции водорода на поверхности катализатора, чем монооксида углерода; подавляется побочная реакция водяного газа; увеличивается степень конверсии CO.

1.3 Реакторы синтеза Фишера-Тропша

Сильная связь между катализатором ФТ и работой реактора привела к разработке реакторов различных типов и конструкций. В таблице 2 приведены характерные особенности некоторых первоначально разработанных ФТ-реакторов [33].

Таблица 2 – Реакторы ФТ

Тип реактора	Статус	Конструктивные детали	Рабочая температура(°C)
Устаревший с неподвижным слоем катализатора (Германия)	Промышленный (устарел)	Корпус и двойная труба	220 – 260
Улучшенный с неподвижным слоем катализатора	Коммерческий	Корпус и труба	220 – 260
Многотрубчатый реактор с неподвижным слоем катализатора	Полупромышленный	Корпус, труба, полка	250 – 280

Продолжение таблицы 2

Реактор с псевдооживленным слоем катализатора	Коммерческий	Цилиндрический корпус	300 – 330
Сларри-реактор	Коммерческий	Цилиндрический корпус	200 – 320

Наиболее распространенными реакторами являются: многотрубчатый реактор с неподвижным слоем, сларри-реактор, трехфазный реактор с псевдооживленным слоем, реактор с псевдооживленным слоем и реактор с циркулирующим псевдооживленным слоем [34]. В настоящее время существует два режима работы для реакторов Фишера-Тропша – высокотемпературный режим (300 – 350 °C) и низкотемпературный режим (200 – 240 °C). Железные катализаторы работают в высокотемпературном режиме для синтеза бензина и линейных низкомолекулярных олефинов. С другой стороны, при низкой температуре процесса используют железный или кобальтовый катализатор для получения высокомолекулярных линейных восков. В случае реакторов с псевдооживленным слоем, слой будучи более изотермичным по сравнению с реакторами с неподвижным слоем, данный тип реактора может работать в температурном диапазоне от 320 до 350 °C, что на 100 °C выше рабочего диапазона температур, используемого в реакторах с неподвижным слоем и сларри-реакторах [35]. На рисунке 1 представлены основные типы коммерческих реакторов Фишера-Тропша.

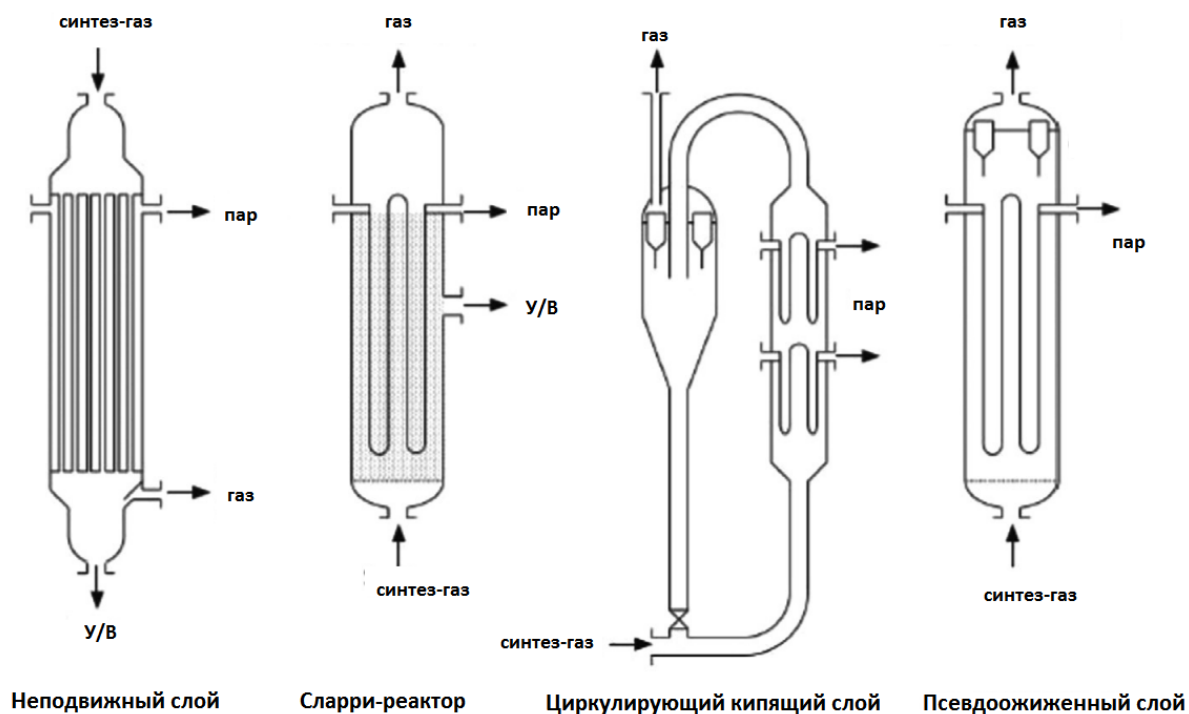


Рисунок 1 – Коммерческие реакторы ФТ

В современном процессе Фишера-Тропша используют низкие температуры для производства жидкого топлива. Основной задачей для реакторов Фишера-Тропша является отвод большого количества тепла, образующегося в процессе реакции и поддержание равномерного профиля температур внутри слоя катализатора. Авторами данных работ [36,37] были предложены следующие способы отвода тепла с реактора:

- 1) Циркуляция охлаждающей жидкости в межтрубном пространстве реактора;
- 2) Внешнее охлаждение – рециркуляция газа или жидкости в слой катализатора;
- 3) Прямое охлаждение путем диспергирования подаваемого синтез-газа в слой катализатора.

Высокотемпературные процессы ФТ работают в диапазоне температур 300 – 350 °С с использованием железных катализаторов для производства бензина или олефинов [38]. Для проведения высокотемпературного синтеза используют двухфазные реакторы с псевдоожиженным слоем – с неподвижным псевдоожиженным слоем и циркулирующим псевдоожиженным слоем.

Реакторы с неподвижным псевдооживленным слоем иногда называют Sasol Advanced Synthol (SAS) реакторами [35]. Технология высокотемпературного синтеза осуществляется на заводе Sasol (Южная Африка) в процессе Syntol [39]. На данный момент это самое крупное промышленное производство углеводородов по методу Фишера-Тропша. Реакторы SAS, которые успешно используются в течение 30 лет на заводе Sasol более экономичны по сравнению с реакторами с циркулирующим псевдооживленным слоем. В первую очередь из-за меньшей конструкционной сложности; высокой конверсии CO; более низкого расхода катализатора; простоты в обслуживании. Циклоны SAS очень эффективно удерживают катализатор внутри реактора. Однако в случае реакторов с циркулирующим псевдооживленным слоем, скрубберные башни используют выходящий из циклонов поток, чтобы удалить следы катализатора до того, как продуктовый поток будет сконденсирован [40].

1.4 Промышленное освоение синтеза Фишера-Тропша

Первый промышленный реактор Фишера-Тропша с неподвижным слоем катализатора был сконструирован фирмой Ruhrchemie (Германия) в 1935 году с общей годовой мощностью 100-120 тыс. тонн, включающий в себя производство бензина, дизельного топлива, смазочных масел и других химических веществ. Автомобильный бензин составил 72% от общего объема производства.

Все заводы на тот момент использовали Co-катализатор, работающий при среднем давлении в пределах 5-15 атм и температуре 180-200 °C и использовали синтез-газ, полученный путем газификации угля [41].

В 1955 году Sasol (Южно – Африканская компания) запускает производство синтетических углеводородов с использованием реакторов с циркулирующим псевдооживленным слоем – реакторов для крупнейшего в мире процесса «Syntoleum». В настоящее время данные реакторы заменены на обычные реакторы с псевдооживленным слоем, называемые Sasol Advanced Synthol (SAS) реакторами. Синтез-газ получают газификацией угля.

Получаемые продукты – бензин, дизельное топливо, сжиженный газ и некоторые кислородсодержащие продукты.

Завод, использующий в качестве источника синтез-газа природный газ был запущен компанией «Shell» в г. Бинтулу, Малайзия в 1993 году. Данный завод использует синтез-газ, полученный в результате парциального окисления метана под давлением 70 бар. и температуре около 1400 °С. Четыре крупных многотрубчатых реактора с неподвижным слоем работают на кобальтовом катализаторе, общая мощность всех реакторов составляет около 125 тыс. тонн в год [42].

Современные промышленные мощности по производству синтетических жидких углеводородов из природного газа были введены в Катар с 2006 по 2012 г. Основной причиной, послужившей созданию производства синтетического жидкого топлива, является наличие в данном регионе больших разведанных запасов природного газа. Производственная мощность завода Oryx GTL в г. Рас-Лаффан, Катар составляет 1,6 млн. т/год. Основной продукцией, выпускаемой на данном заводе, является: керосино-дизельная фракция, нефтя, сжиженный углеводородный газ [43].

Все промышленные производства ФТ, представленные выше используют синтез-газ, полученный путем конверсии метана или газификации угля. Использование синтез-газа полученного из биомассы для производства жидкого топлива является наиболее привлекательным с экономической и экологической точек зрения [44]. Однако в настоящий момент производства, использовавшие бы данную технологию отсутствуют.

2 Экспериментальная часть

2.1 Объект и методы исследования

Объектом данного исследования является ультрадисперсный порошок железа (УДП), промотированный оксидом алюминия. Образцы ультрадисперсного железного порошка для исследования были получены методом электрического взрыва проводников заданного химического состава с использованием оборудования лаборатории №12 Института физики высоких технологий Томского политехнического университета. Сотрудниками данной лаборатории был разработан и запатентован способ получения ультрадисперсных порошков методом электрического взрыва проволок (ЭВП).

Электрическим взрывом проводников (ЭВП) называют явление взрывообразного разрушения металлического проводника при прохождении через него импульса тока большой плотности (более 10^{10} А/м²). Явление это сопровождается яркой вспышкой света, резким звуком, ударной волной, распространяющейся в окружающей проводник среде. Продуктами разрушения проводника являются пары и мельчайшие частицы металла, которые в определенных условиях могут взаимодействовать с окружающей средой, образуя различные химические соединения [45].

Для приготовления УДП использовалась стальная проволока (ГОСТ 2246–70) марки Св–08А.

Таблица 3 – Химический состав проволоки (%масс.)

Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Al
98,13	0,80	0,03	0,60	0,12	0,25	0,03	0,03	0,01

Полученный методом ЭВП ультрадисперсный порошок железа смешивали в керамической ступке с порошком гамма-оксидом алюминия (7% масс.). Затем полученную смесь подвергали прессованию со связующим с использованием матрицы Пуансона. В качестве связующего вещества использовался поливиниловый спирт с концентрацией 8 % масс. Ультрадисперсный порошок обрабатывался раствором связующего вещества,

затем подвергался прессованию под давлением 21 МПа, с временем выдержки 30 секунд. Полученные брикеты высушивались при комнатной температуре в течение суток. Для испытания на каталитической установке использовалась фракция катализатора 1-2 мм.

Тестирование катализатора проводилось на лабораторной каталитической установке, работающей при повышенных давлениях, технологическая схема которой изображена на рисунке 2.

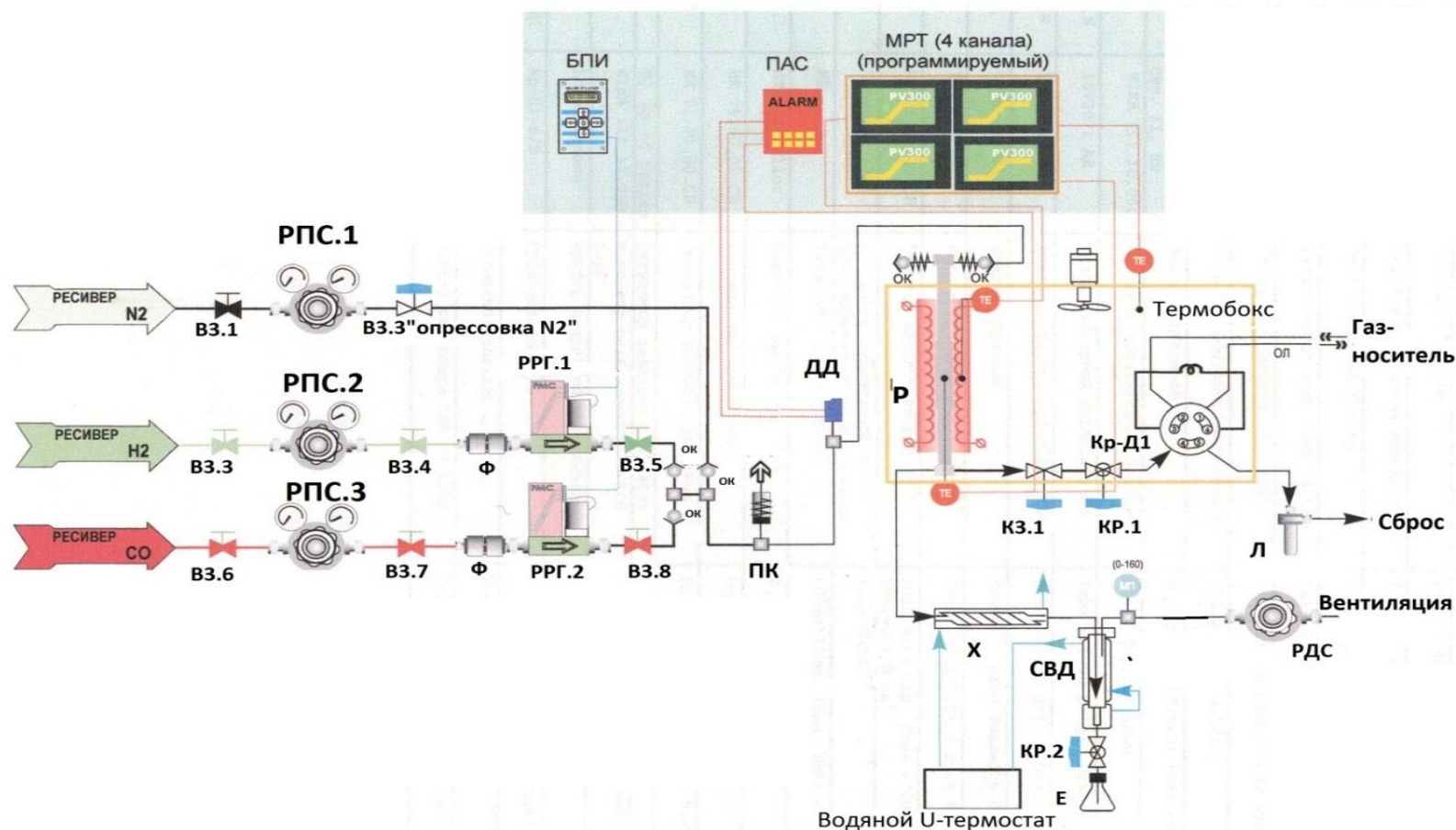


Рисунок 2 – Технологическая схема лабораторной каталитической установки: ВЗ–вентиль запорный; РПС–регулятор давления газа «после себя»; Ф–противопыльный фильтр; РРГ–регулятор расхода газа; ОК–обратный клапан; ПК–предохранительный клапан; Р–реактор высокого давления; Х–прямоточный холодильник; СВД–сепаратор высокого давления; КЗ–клапан запорный; КР–клапан регулирующий; ДД–датчик давления; Е–емкость приемная; РДС–регулятор давления газа «до себя»; БПИ–блок питания; ПАС–прибор аварийной сигнализации; МРТ–микропроцессорный регулятор температуры; Кр-Д1– кран-дозатор.

Азот в реакторной системе необходим для продувки системы, разбавления реакционной смеси и проведения теста на герметичность. Подается азот из баллона и при помощи ручки регулятора давления РПС.1 выставляется необходимое давление, которое контролируется по манометрам, установленными в корпусе регулятора и, далее, через вентиль В3.3 («Опрессовка N2») подается в реакторную систему.

Водород используется в системе как газовый реагент и подается аналогично азоту из баллона, через вентиль запорный В3.3, регулятор давления РПС.2, вентиль запорный В3.4 и противопыльный фильтр Ф на регулятор расхода газа РРГ.1. Далее водород, через запорный клапан В3.5, через обратный клапан (ОК) подается в каталитический реактор.

Оксид углерода используется в системе как газовый реагент и подается аналогично азоту (аргону) из баллона, через вентиль запорный В3.6, регулятор давления РПС.3, вентиль запорный В3.7 и противопыльный фильтр Ф на регулятор расхода газа РРГ.2. Далее оксид углерода, через запорный клапан В3.8, через обратный клапан подается в каталитический реактор.

На линии подачи смеси водорода, оксида углерода и азота установлены цифровой датчик давления ДД соединенный с прибором аварийной сигнализации ПАС и пружинный предохранительный клапан ПК.

Реакторный блок состоит из реактора, электрической печи и системы обратных клапанов. Реактор представляет собой трубу из нержавеющей стали, с внутренним диаметром 12 мм, максимальным объемом загружаемого катализатора 7,0 см³. Обогрев реактора обеспечивает однозонная электрическая печь, позволяющая поддерживать температуру по слою катализатора с погрешностью ± 2 °С. Реакторный блок снабжен контролирующей термопарой, расположенной в слое катализатора.

Блок разделения продуктов состоит из прямоточного холодильника (Х) и сепаратора высокого давления (СВД). После разделения продуктов, в сепараторе высокого давления, конденсат сливается через клапан регулирующей КР.2 в приемник конденсата Е.

Для проведения хроматографических анализов паро-газовой смеси непосредственно из реактора в реакторной системе предусмотрены клапан запорный КЗ.1, предназначенный для открывания и запираания потока на анализ, клапан регулирующий КР.1 для регулирования потока через кран-дозатор Кр-Д1. По ловушке-индикатору можно визуально контролировать количество смеси проходящей через кран-дозатор Кр-Д1-6/2.

Основным технологическим узлом установки является реактор с печью. Особенности конструкций применяемых реакторов обусловлены параметрами процесса, свойствами сред, характером протекания реакций, методикой их исследования. Для данной установки разработан специальный реактор проточного типа, позволяющий работать в условиях повышенных давлений, с навесками катализатора до 7,0 см³. Конструкция реактора показана на рисунке 3. Герметизация реактора осуществляется при помощи верхнего и нижнего фланцев, закрепляемых 4-мя болтами, места соединения уплотняются при помощи тефлоновых прокладок. В верхнем фланце реактора имеются два штуцера для подвода исходных реагентов. В нижней части реактора имеется два штуцера для отвода продуктов реакции через прямоточный кожухотрубчатый теплообменник. Корпус реактора, фланцы, штуцера изготовлены из коррозионностойкой стали 12Х18Н9Т.

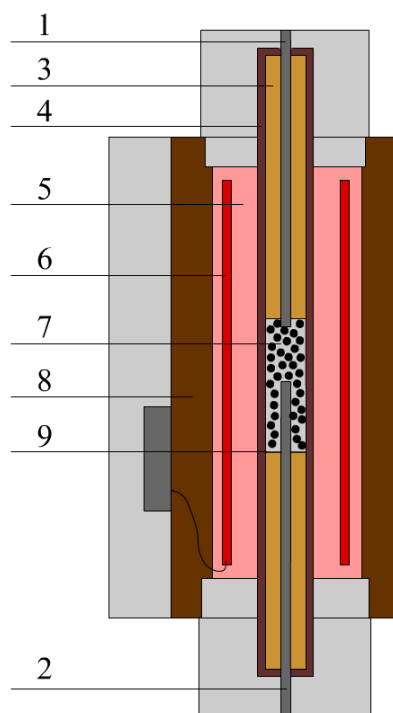


Рисунок 3 – Трубчатый реактор: 1, 2 – термопары, 3 – испаритель, 4 – корпус, 5 – медный бандаж, 6 – печь, 7 – слой катализатора, 8 – теплоизоляция, 9 – решётка

Верхний 90-мм участок корпуса реактора используется для предварительного нагрева, испарения и подготовки исходной реакционной смеси. Для лучшей теплопередачи от стенки реактора к сырью в испарителе сделаны специальные каналы, увеличивающие поверхность теплообмена для испарения, подогрева и смешения исходных реагентов. Загрузка катализатора осуществляется через верхний фланец реактора, выгрузка - через нижний фланец.

Хроматографический анализ газовых смесей проводился на хроматографе «Хроматэк–Кристалл 5000.1». Анализ газовых проб производится с использованием хроматографических колонок с температурой колонок – 80 °С:

- насадочная колонка длиной 3 м с сорбентом NaX (60/80) – для обнаружения и расчета концентраций: водорода, кислорода, азота, метана и монооксида углерода (скорость газа-носителя Ar – 30 мл/мин);

- насадочная колонка длиной 1,5 м с сорбентом Carbosieve S-II (60/80) для обнаружения и расчета концентраций двуокиси углерода (скорость газа-носителя He – 30 мл/мин);

- капиллярная колонка длиной 30м Agilent HP-AL-S для обнаружения и расчета концентраций углеводородов C₁–C₆;

Расчет концентраций компонентов газовой смеси проводили по методу абсолютной градуировки «Хроматэк Аналитик 2.5»;

Хроматографический анализ жидких смесей проводился на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000.2». Анализ жидких проб производится с использованием хроматографической колонки с температурой – 200 °С;

- капиллярная колонка длиной 100 м Agilent DB–1 с неполярным сорбентом Dimethylpolysiloxane – для обнаружения и расчета концентраций углеводородов и оксигенатов;

Расчет концентраций компонентов жидкой смеси проводили по методу внутренней нормализации «Хроматэк Аналитик 2.5».

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

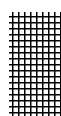
Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

Целесообразно выбрать два наиболее значимых критерия: размер компании и отрасль, по которым будет производиться сегментирование рынка.

Таблица 8 – Карта сегментирования рынка

		Отрасль	
		Газодобывающие предприятия	Нефтегазодобывающие предприятия
Размер компании	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		



Sasol



Chevron



ExxonMobil



Oxford Catalyst

Как видно из таблицы 8, наиболее перспективным сегментом в отраслях газодобычи и нефтедобычи для формирования спроса является сегмент крупных и средних нефтедобывающих компаний.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. В настоящий момент в России можно выделить лишь два наиболее влиятельных предприятий-конкурентов в области разработок и производства катализаторов для получения синтетических углеводородов по методу Фишера-Тропша: АО «Ангарский завод катализаторов и органического синтеза» (Иркутская область), ООО «ИНФРА» (г. Москва).

В таблице 9 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства катализаторов ФТ.

Таблица 9 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии катализатора							
1. Производительность катализатора	0,3	4	4	5	1,2	1,2	1,5
2. Срок службы катализатора	0,3	4	4	5	1,2	1,2	1,5
Экономические критерии оценки эффективности							
3. Цена	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
4. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4

Продолжение таблицы 9

5. Финансирование научной разработки	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
Итого:	1				4,2	4,1	4,5

Б_ф – продукт проведенной исследовательской работы;

Б_{к1} – «Ангарский завод катализаторов и органического синтеза»;

Б_{к2} – «ИНФРА».

Таким образом, на основании таблицы 9 можно сделать вывод, что разработанный в ходе исследовательской работы катализатор может составить серьезную конкуренцию уже имеющимся на российском рынке производителям. Главными преимуществами данной разработки является довольная высокая производительность и срок службы при относительно низкой цене.

3.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

На основе анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы был составлен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Матрица первого этапа SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Высокое качество получаемой продукции С2. Возможность дальнейшей переработки продуктов в синтетические моторные топлива С3. Экологичность получаемой продукции С4.Квалифицированный персонал С5. Тепловая энергия, получаемая как побочный продукт, может быть востребована на рынке	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Значительные потери исходного сырья при преобразовании газа в циклах химических превращений. Сл2. Проблемы с выделением и утилизацией тепла Сл3. Реализация проекта требует значительных инвестиций и сопряжена с длительным сроком окупаемости. Сл4. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Возможность привлечения инвестиций на проведение научно-исследовательских работ В3. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы: У1. Техническая и технологическая сложность реализации научно-исследовательского проекта У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства		

На втором этапе SWOT-анализа строятся интерактивные матрицы, которые представлены в таблицах 11, 12, 13, 14.

Таблица 11 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	-
	B2	+	+	0	+	+
	B3	+	-	0	0	0

Таблица 12 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	0
	B2	-	-	-	0
	B3	0	0	+	0

Таблица 13 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	-	+
	У2	+	+	+	-	+
	У3	-	-	-	-	-

Таблица 14 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта					
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	-	-
	У2	-	-	+	-
	У3	-	-	+	+

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 15).

Таблица 15 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Высокое качество получаемой продукции С2. Возможность дальнейшей переработки продуктов в синтетические моторные топлива С3. Экологичность получаемой продукции С4. Квалифицированный персонал С5. Тепловая энергия, получаемая как побочный продукт, может быть востребована на рынке	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Значительные потери исходного сырья при преобразовании газа в циклах химических превращений. Сл2. Проблемы с выделением и утилизацией тепла Сл3. Реализация проекта требует значительных инвестиций и сопряжена с длительным сроком окупаемости. Сл4. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Возможность привлечения инвестиций на проведение научно-исследовательских работ В3. Повышение стоимости конкурентных разработок	Создание недорогого, конкурентоспособного способного железного катализатора для получения высококачественных синтетических жидких топлив	Ввиду значительных затрат на внедрение результатов НИР в промышленность и долгим сроком окупаемости проекта, возможно увеличение стоимости данной разработки
Угрозы: У1. Техническая и технологическая сложность реализации научно-исследовательского проекта У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Высокое качество и экологичность получаемой продукции, привлечение к работе высококвалифицированного персонала, эффективное использование побочно выделяющегося тепла может снизить влияние данных угроз	При задержках в поставках используемых материалов и одновременном развитии конкуренции технологии обогащения есть риски потери занятой ниши рынка. При добавлении к этому несвоевременного финансового обеспечения угроза потери рынка значительно возрастает

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят: бакалавр, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (таблица 16).

Таблица 16 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы, консультанты СО, ЭЧ, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	4	Патентный поиск	Бакалавр
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
	7	Проведение экспериментов	Бакалавр
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	10	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	11	Разработка катализатора синтеза Фишера-Тропша	Руководитель, бакалавр
	12	Оценка эффективности производства и применения разработки	Бакалавр, консультант по ЭЧ
	13	Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант СО

Продолжение таблицы 16

Изготовление и испытание опытного образца	14	Получение опытного образца	Руководитель, бакалавр
	15	Лабораторные испытания опытного образца	Руководитель, бакалавр
Оформление комплекта документации по ВКР	16	Составление отчета	Бакалавр

3.2.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 17 – Морфологическая матрица для получения катализатора ФТ

	1	2	3
А. Катализатор	УДП порошок железа	УДП порошок железа	УДП порошок железа
Б. Связующее	Поливиниловый спирт	Поливинилпирролидон	Полиэтиленоксид
В. Материал баллонов	Металлические	Композитные	Композитные

3.2.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (11)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения

обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (12)$$

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.

Результаты расчетов занесены в таблицу 18.

Таблица 18 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ									Исполнитель	Т _р , раб. дн.			Т _р , кал. дн.		
		t _{min} , чел.-дн.			t _{max} , чел.-дн.			t _{ож} , чел.-дн.				Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3							
1	Составление технического задания	0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	Р	0,2	0,2	0,2	1	1	1
		0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	Б	0,2	0,2	0,2	1	1	1
		0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	К ¹	0,2	0,2	0,2	1	1	1
		0,3	0,3	0,3	1	1	1	0,6	0,6	0,6	К ²	0,2	0,2	0,2	1	1	1
2	Выбор направления исследований	0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Р	0,5	0,5	0,5	1	1	1
		0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Б	0,5	0,5	0,5	1	1	1
3	Подбор и изучение материалов	6	6	6	11	11	11	8	8	8	Б	4	4	4	4	4	4
4	Патентный поиск	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	8,2	8,2	8,2	10	10	10
5	Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	1	1	1
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Б	0,7	0,7	0,7	1	1	1
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Б	3,4	3,4	3,4	4	4	4

Продолжение таблицы 18

7	Проведение экспериментов	5	5	5	8	8	8	6,2	6,2	6,2	Б	6,2	6,2	6,2	8	8	8
8	Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Р	1,2	1,2	1,2	1	1	1
		3	3	3	5	5	5	3,8	3,8	3,8	Б	1,9	1,9	1,9	2	2	2
9	Оценка эффективности результатов	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	1,7	2	2	2
		4	4	4	5	5	5	4,4	4,4	4,4	Б	2,2	2,2	3	3	3	3
10	Определение целесообразности и проведения ВКР	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Р	1,2	1,2	1,2	1	1	1
		2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Б	1,2	1,2	1,2	1	1	1
11	Разработка катализатора Фишера-Тропша	7	7	7	9	9	9	7,8	7,8	7,8	Б	3,9	3,9	3,9	5	5	5
		3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	1,7	2	2	2
12	Оценка эффективности производства и применения разработки	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Б	3,5	3,5	3,5	4	4	4
		2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	К ¹	1,2	1,2	1,2	2	2	2
13	Разработка СО	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	4,1	4,1	4,1	5	5	5
		2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	К ²	1,2	1,2	1,2	2	2	2
14	Получение опытного образца	5	5	5	6	6	6	5,4	5,4	5,4	Р	2,7	2,7	2,7	3	3	3
		6	6	6	7	7	7	6,4	6,4	6,4	Б	3,2	3,2	3,2	4	4	4
15	Испытания опытного образца	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Р	1,2	1,2	1,2	1	1	1
		3	3	3	5	5	5	3,8	3,8	3,8	Б	1,9	1,9	1,9	2	2	2
16	Составление отчета	20	20	20	21	21	21	20,4	20,4	20,4	Б	20	20	20	25	25	25

Р – руководитель;

Б – бакалавр;

К¹ – консультант по экономической части;

К² – консультант по социальной ответственности.

3.2.4 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому

наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (13)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (14)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

На основе таблицы 18 строится календарный план-график (приложение А). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения выпускной квалификационной работы.

3.2.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.2.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (15)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования; $Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов; k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данного НТИ, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., с НДС руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
УДП порошок железа	кг.	1	1	1	550	550	550	632	632	632
Баллон с N ₂	шт.	1	1	1	3000	5896	5896	3450	6780	6780
Баллон с H ₂	шт.	1	1	1	3500	6250	6250	4025	6875	6875
Баллон с СО	шт.	1	1	1	3500	6431	6431	4025	7396	7396
Поливиниловый спирт	кг.	1	0	0	510	0	0	587	0	0
Поливинилпирролидон	кг.	0	1	0	0	2835	0	0	3260	0
Полиэтиленоксид	кг.	0	0	1	0	0	400			460
Итого								12719	24943	22143

3.2.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для проведения экспериментальных работ

Расчет затрат на приобретение специального оборудования для проведения исследований приведены в таблице 20.

Таблица 20–Затраты на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Сумма амортизацион- ных отчислений,,руб.
1.	Лабораторная каталитическая установка	1	3000000	187500
2.	Газовый хроматограф	1	1000000	100000
Итого				287500

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле:

$$A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}}}{T_{\text{пи}}}, \quad (16)$$

где $C_{\text{перв}}$ – первоначальная стоимость, руб; $T_{\text{пи}}$ – время полезного использования, год.

Результаты расчетов приведены в таблице 20.

3.2.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Для расчета основной заработной платы используем месячный оклад руководителя, консультанта ЭЧ, консультанта СО.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (17)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $З_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (18)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн. (таблица 18).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (19)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

В таблице 21 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней выходные/праздничные дни:	118	118	118
Потери рабочего времени отпуск:	0	0	0
невыходы по болезни:	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247	247

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (20)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от $З_{\text{тс}}$); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{\text{тс}}$); $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 22

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы

Категория	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{доп}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель							
ППСЗ	23264,9	0,35	1,3	49903	2263	11	24891
Консультант ЭЧ							
ППСЗ	23264,9	0,35	1,3	49903	2263	1,4	3168
Консультант СО							
ППС4	33162,9	0,35	1,3	71134	3226	1,4	4516

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 23.

Таблица 23 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$З_{\text{осн}}$, руб.	$З_{\text{доп}}$, руб.	$З_{\text{зн}}$, руб.
Руководитель	24891	3734	28625
Консультант ЭЧ	3168	475	3643
Консультант СО	4516	677	5193

3.2.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходом отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (21)$$

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 20%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	24891	3734
Консультант ЭЧ	3168	475
Консультант СО	4516	677
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,20	
Итого:	7492,2	

3.2.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5), \quad (12)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов $k_{нр}$ допускается взять в размере 16%. Результаты расчета накладных расходов на НТИ приведены в таблице 25.

3.2.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	12719	24943	22143	Таблица 13
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	287500	287500	287500	Таблица 14
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	32575	32575	32575	Таблица 16
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4886	4886	4886	Таблица 16
5. Отчисления во внебюджетные фонды	7492,2	7492,2	7492,2	Таблица 18
6. Накладные расходы	55228	57183	56735	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	400400	414579	411331	Сумма ст. 1-6

На основании таблицы 25 можно сделать вывод, что основные затраты НТИ приходятся на специальное оборудование для проведения экспериментальных работ.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (23)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (24)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 26– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	3

Продолжение таблицы 26				
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	4
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4	4
4. Энергосбережение	0,20	4	4	4
5. Надежность	0,25	4	5	5
6. Материалоемкость	0,15	5	3	3
ИТОГО	1	4,4	4,1	4

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (25)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 27) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (26)$$

Таблица 27 –Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,51	1	0,89
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4,1	4
3	Интегральный показатель эффективности	8,6	4,1	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2	0,9	1

Вывод: сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что предпочтительным является первый вариант исполнения, так как данный вариант исполнения является наиболее экономичным и ресурсоэффективным.

Список публикаций

1. Литвинова А.Е. Исследование активности ультрадисперсного железного катализатора в процессе синтеза жидких углеводородов методом Фишера-Тропша // XXV Менделеевская конференция молодых ученых: сборник тезисов, Томск, 19–25 апреля 2015. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015 – С. 75;
2. Литвинова А.Е., Попок Е.В. Каталитическая активность ультрадисперсных порошков железа в процессе Фишера-Тропша // VI Всероссийская молодежная научно-техническая конференция «Наукоемкие химическиетехнологии-2015»: сборник тезисов, Москва, 11–12 ноября 2015. – Москва: Московский государственный университет тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, 2015 – С.17;
3. Литвинова А.Е. Промотирование ультрадисперсного железного катализатора процесса Фишера-Тропша оксидом алюминия // Проблемы геологии и освоения недр: материалы XX Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова., Томск, 4 – 8 Апреля 2016. – Томск: ТПУ, 2016 [в печати];
4. Литвинова А.Е., Бурлуцкий Н.П. Исследование каталитической активности ультрадисперсного железного порошка в процесс е Фишера-Тропша // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVII Международной научно - практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 120-летию Томского политехнического университета: в 2 т., Томск, 17 – 20 Мая 2016. – Томск: ТПУ, 2016 – С.362 – 363.