

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, профиль подготовки «Основные процессы химических производств и химическая кибернетика»

Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка кинетической модели синтеза Фишера-Тропша с учетом группового состава продуктов

УДК 665.652.72:547.1:541.12

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Григорьева Мария Михайловна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТТ и ХК	Ушева Наталья Викторовна	Кандидат химических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Сечина Ася Александровна	Кандидат химических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	Доктор биологических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	Кандидат технических наук		

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

Институт *природных ресурсов*
 Направление подготовки (специальность) *18.03.02 – «Энерго и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»*
 Кафедра *Химической технологии топлива и химической кибернетики*

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
Юрьев Е.М
 (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
2К21	Григорьева Мария Михайловна

Тема работы:

Разработка кинетической модели синтеза Фишера-Тропша с учетом группового состава продуктов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1631/с от 29.02.2016г.
Срок сдачи студентом выполненной работы:	04 июня 2016 г.

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>Процесс синтеза органических соединений из оксида углерода и водорода; механизм и кинетика синтеза на железных катализаторах. Методика проведения кинетических исследований на экспериментальной каталитической установке.</p>
---	---

<p>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).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теоретические основы синтезов из оксида углерода и водорода 2. Выбор методов исследования 3. Проведение экспериментальных исследований и обработка экспериментальных данных 4. Разработка кинетической модели 5. Обсуждение результатов 6. Заключение (выводы)
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Анализ состава продуктов синтеза-1 лист; Кинетическая модель-1 лист; Результаты исследований-1 лист.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Сечина Ася Александровна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ахмеджанов Рафик Равильевич</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>08. 02. 2016г.</p>
--	-----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент каф. ХТТ и ХК</p>	<p>Ушева Наталья Викторовна</p>	<p>к.х.н., доцент</p>		<p>08.02.2016г.</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>2К21</p>	<p>Григорьева Мария Михайловна</p>		<p>08.02.2016г.</p>

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К21	Григорьевой Марии Михайловне

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Объект исследования – процесс синтеза Фишера-Тропша;

Рабочая зона -аудитория, которая оборудована системами отопления, кондиционирования воздуха и естественным и искусственным освещением. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером.

Область применения –нефтехимическая промышленность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

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

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

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

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

В производственной среде и при применении вычислительной техники вероятно воздействие следующих вредных факторов:

- повышенная яркость света;
- шум;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- ухудшение микроклимата,
- вредные вещества.

Вредные вещества. На каталитической установке присутствуют вредные вещества такие, как:

- сероводород,
- аммиак,
- окись углерода,
- бензол,
- толуол и т.д.

Средства защиты: хлопчатобумажные костюмы, защитные очки, ботинки кожаные, перчатки фильтрующие противогазы, каска.

К опасным факторам относятся:

- горючесть, взрывоопасность и токсичность веществ применяемых и получаемых на установке;
- возможность образования зарядов статического электричества;

<p>профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>	<p>- наличие электротехнических устройств высокого напряжения; превышение токсичных веществ в воздухе рабочей зоны. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение». СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Основными загрязнителями атмосферы на производстве являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Сероводород; - Аммиак; - Оксид углерода(II); - Бензол; <p>Повышения экологической безопасности можно достигнуть путем снижения выбросов во время эксплуатации за счет использования улучшенных фильтрационных и очистительных сооружений.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Возникновение ЧС, требующих обеспечения электро- и пожаровзрывобезопасности на рабочем месте. Перечень возможных ЧС :</p> <ul style="list-style-type: none"> - пожар; - взрыв; - разлив продуктов/компонентов производства; <p>Для обеспечения безопасной эксплуатации установки предусмотрена рациональная технологическая схема с комплексной автоматизацией технологического процесса, позволяющая обеспечить его непрерывность и стабильную работу оборудования. Предусмотрено отключение электрооборудования со щита операторной.</p> <p>ГОСТ Р 22.3.03-94 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения».</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при 	<p>К нормативным актам, регулирующим вопросы охраны труда, в первую очередь относится Трудовой кодекс Российской Федерации. Для обеспечения безопасности на рабочем месте необходимо руководствоваться санитарными нормами и правилами. Для снижения вредного воздействия</p>

компоновке рабочей зоны.	химических факторов работникам производства выдается молоко питьевое в количестве 0,5 литра за смену для выведения из организма токсических веществ.
--------------------------	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Ахмеджанов Рафик Равильевич	Доктор биологических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Григорьева Мария Михайловна		

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

Студенту:

Группа 2К21	ФИО Григорьевой Марии Михайловне
----------------	-------------------------------------

Институт Уровень образования	ИПР Бакалавр	Кафедра Направление/специальность	ХТТ и ХК Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
---------------------------------	-----------------	--------------------------------------	---

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования(НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>
	<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>
	<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>
Перечень графического материала:	
<ol style="list-style-type: none"> <i>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</i> <i>2. Матрица SWOT</i> <i>3. График проведения и бюджет НИ</i> <i>4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i> 	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Сечина Ася Александровна	Кандидат химических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Григорьева Мария Михайловна		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,14,16,17,18), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11 ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,7,10,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Реферат

Выпускная квалификационная работа 76 страниц, 15 рисунков, 18 таблиц, 26 источников.

Ключевые слова: синтез Фишера–Тропша (СФТ), катализатор, математическое моделирование, кинетика.

Объектом исследования является кинетическая модель синтеза Фишера–Тропша.

Цель работы – исследовать кинетические зависимости синтеза Фишера–Тропша и сформировать кинетическую модель.

В процессе работы проводились эксперименты на ультрадисперсном железосодержащем катализаторе синтеза Фишера–Тропша с соотношением исходного синтез–газа $\text{CO} : \text{H}_2 = 1 : 2$.

Были получены данные о составе газообразных и жидких продуктов синтеза. Отличительной особенностью данного катализатора является высокий выход изо-алканов, нафтенов и ароматических соединений. Разделив углеводороды на группы: алканы, изо-алканы, алкены, циклоалканы, арены - была сформирована кинетическая модель по аналогии с разработанной кинетической моделью на модифицированном железном катализаторе.

В экономической части рассчитали трудоемкость выполненных работ, временные показатели проведения работ, материальные затраты.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2013.

ОГЛАВЛЕНИЕ	
ВВЕДЕНИЕ	12
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	13
1.1 Общие сведения о процессе	13
1.2 Механизм процесса	15
1.2.1 Основные стадии механизма процесса	15
1.2.2 Образование активных частиц	18
1.2.3 Стадии роста цепи	20
1.2.4 Обрыв цепи	24
1.3 Кинетика реакций синтеза Фишера-Тропша	26
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	30
3 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	32
3.1 Анализ экспериментальных данных	32
3.2 Разработка кинетической модели с учетом группового состава	35
3.3 Результаты проведенного исследования	37
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	40
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	40
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	42
4.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ	44
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	49
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	56
5.1 Производственная безопасность	58
5.2 Охрана окружающей среды	67
5.3 Анализ факторов, характеризующих возникновение чрезвычайных ситуаций	68
5.4 Правовые вопросы обеспечения безопасности	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	70
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	73
	10

ПРИЛОЖЕНИЕ А Выход продуктов синтеза Фишера – Тропша	77
ПРИЛОЖЕНИЕ В Расчет выхода продуктов синтеза Фишера-Тропша на ультрадисперсном железном катализаторе в среде программы Pascal	79

ВВЕДЕНИЕ

Из-за сокращения природных запасов углеводородного сырья увеличивается поиск новых технологий, которые позволяют получать аналоги нефти и продукты на ее основе. В данном отношении перспективным является синтез Фишера-Тропша, который из CO и H₂ позволяет получать углеводороды различного состава в зависимости от условий синтеза и вида катализатора. Актуальность создания технологии синтетических углеводородов обусловлена востребованностью этих продуктов, в том числе высокомолекулярных, в различных областях промышленности.

Эффективность процесса определяется такими показателями, как производительность и селективность. Для повышения производительности и селективности процесса синтеза Фишера-Тропша существуют два подхода. Первый подход – каталитический, заключающийся в разработке новых катализаторов, которые позволяют смещать максимум в распределении образующихся углеводородов в сторону желаемой фракции, чему способствуют оптимизация пористой структуры, активирующих добавок, увеличение теплопроводности контакта. Вторым подходом – технологический, основан на выборе технологического оформления (тип реактора, способ организации технологических потоков) и режима процесса (температура синтеза, давление в реакторе, состав исходного газа и так далее), которые обеспечивают увеличение производительности и выхода желаемой фракции углеводородов. Синтез Фишера-Тропша является актуальным процессом переработки разнообразного углеродсодержащего сырья с целью получения углеводородных продуктов.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

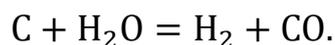
1.1 Общие сведения о процессе

Синтез Фишера - Тропша — это химический процесс, в котором монооксид углерода (CO) и водород H₂ преобразуются в различные жидкие углеводороды, в присутствии катализатора. Чаще всего применяют катализаторы, содержащие железо и кобальт. Назначение данного процесса — производство углеводородов для их применения в виде синтетических смазочных масел или горючего.

Синтез углеводородов из CO и H₂ – гетерогенно-каталитический процесс, протекающий с огромным выделением тепла. Реакции протекают, в зависимости от катализатора, который используется в процессе, при атмосферном и высоких давлениях в интервале температур 160–375 °С [1].

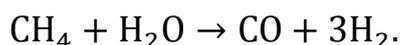
На данный момент имеются три главных промышленных метода получения синтез-газ[3]:

Газификация угля. Данный процесс базируется на взаимодействии угля с водяным паром:



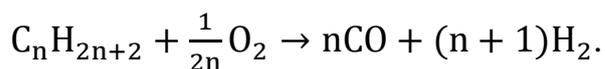
Реакция эндотермическая, равновесие сдвигается вправо при температурах 900 - 1000°С.

Конверсия метана. Реакция взаимодействия водяного пара с метаном ведется в пребывании никелевых катализаторов (Ni-Al₂O₃) при высоких температурах (800 - 900°С) и давлении:



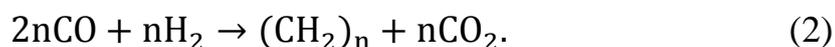
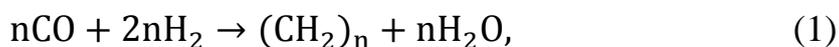
В качестве сырья вместо метана может быть использовано любое углеводородное сырье.

Парциальное окисление углеводородов. Процесс заключается в том, что при температурах выше 1300°С происходит неполное термическое окисление углеводородов:



В производстве этот метод может быть применим к любому углеводородному сырью, но чаще всего используется мазут – высококипящая фракция нефти.

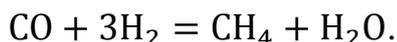
Синтез Фишера-Тропша можно рассматривать как реакцию восстановительной олигомеризации монооксида углерода, при которой возникают углерод – углеродные взаимосвязи, и как правило, это представляет собой сложное сочетание ряда гетерогенных реакций, которые могут быть представлены следующими формулами:



Продуктами реакции являются алканы, алкены и кислородсодержащие соединения, из этого следует что, образуется сложная смесь продуктов, которая свойственна для реакции полимеризации. Первичными продуктами считаются α - и β -олефины, которые превращаются в алканы в следствии следующего гидрирования.

Побочные реакции синтеза углеводородов из CO и H₂:

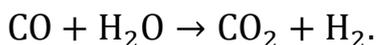
- гидрирование монооксида углерода до метана:



- диспропорционирование монооксида углерода (реакция Белла — Будуара)[2]:



- химическое равновесие в водяном газе:



Из монооксида углерода и водорода вероятно образование углеводородов любого типа и структуры, а также молекулярной массы, кроме ацетилена, образование которого энергетически невыгодно. Наиболее вероятнее образование метана в области температур 50 - 350°C. С увеличением длины цепи вероятность образования простых алкенов возрастает, а простых

алканов – уменьшается. Увеличение общего давления в системе приводит к образованию более тяжелых продуктов, а повышение парциального давления водорода в синтез - газе способствует образованию алканов. Следует, отметить, что равновесный состав продуктов синтеза углеводородов из CO и H₂ значительно отличается от реального состава. Синтез Фишера-Тропша это кинетически контролируемый процесс, и на распределение продуктов влияет природа катализатора и условия синтеза.

1.2 Механизм процесса

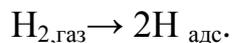
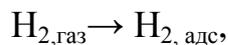
Первые работы по синтезу углеводородов из CO и H₂ появились в начале XX века, несмотря на это дискуссии о механизме образования углеводородов из CO и H₂ не прекращаются до сих пор. Обуславливается, прежде всего, это тем, что синтез углеводородов из CO и H₂ – сложный каталитический процесс, включающий в себя огромное количество последовательных и параллельных превращений.

1.2.1 Основные стадии механизма процесса

Химические превращения смеси CO + H₂ на катализаторе, которые приводят к образованию широкого спектра соединений из различных гомологических рядов, могут быть объяснены с помощью механизма, который сочетает в себе каталитические и полимеризационные стадии:

- 1) адсорбция реагентов на поверхности катализатора,
- 2) образование активированных частиц,
- 3) рост углеводородной цепи,
- 4) обрыв цепи,
- 5) десорбция продуктов с поверхности катализатора,
- 6) вторичная адсорбция продуктов на поверхности катализатора,
- 7) вторичные, побочные реакции.

Адсорбция реагентов на поверхности катализатора. Независимо от формы, молекулярная или диссоциативная, водород адсорбируется на металлах VIII группы:



Хемосорбция водорода на металлах, которые используются для синтеза углеводородов –Ni, Co, Fe, незначительно отличается по величине и характеру связи с поверхностью. Беря во внимание разное поведение данных катализаторов в синтезе, можно представить, что хемосорбция водорода не играет значимой роли в протекании процесса.

Адсорбция окиси углерода на поверхности катализатора – более сложный процесс. Первоначальный этап – адсорбции CO носит ассоциативный характер, причем молекулярные формы ассоциата могут существенно отличаться в зависимости от того, какова природа катализатора и условия реакции. Окись углерода адсорбируется на металле и может находиться в линейной или мостиковой формах, включающих один, два и более поверхностных атомов металла(рисунок 1):

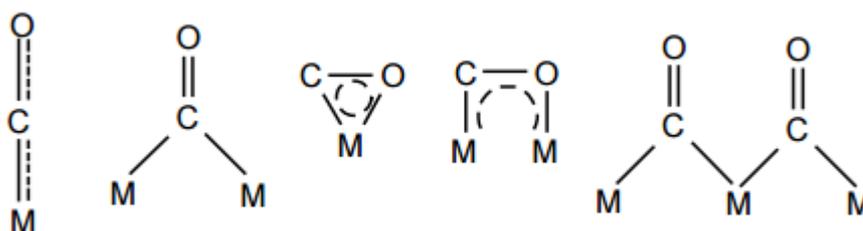


Рисунок 1 – Формы адсорбции монооксида углерода

Температурный диапазон соответствует десорбции каждой форме: в основном ниже 250 °С для линейных структур и выше 250 °С – для мостиковых.

Заполненность 4d-орбитали металла (чем более заполнена 4d-орбиталь, тем больше доля прочно связанной формы), так же дисперсность металлических частиц (которая определяется природой носителя, методом приготовления катализатора и условиями его восстановления) и температура,

при которой протекает адсорбция, влияет на общее количество адсорбированного CO, на соотношение форм и прочность их связи с поверхностью.

Еще в 70-х годах прошлого века существовало мнение, что взаимодействие монооксида углерода с металлической поверхностью сопровождается диссоциацией адсорбированных молекул CO (рисунок 2):

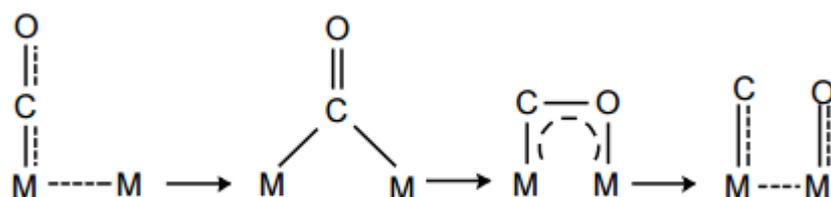


Рисунок 2 – Диссоциация адсорбированных молекул CO

Диссоциация молекул монооксида углерода происходит на участках, которые выступают поверхности и богаты энергией, а после того как они заполнятся, наблюдается молекулярная адсорбция CO. Диссоциация облегчается при повышении температуры. На долю молекулярно-адсорбированного оксида углерода чаще всего приходится меньше 30% общего объема адсорбированного газа. Диссоциация монооксида углерода на разных металлах происходит при различных температурах. Так, на Fe, Mn, Cr, Mo, W монооксид углерода диссоциирует уже при комнатной температуре, на Co, Ni, Ru, Rh и Os – ниже 200 °С, а на Cu, Pt и Pd – выше 300 °С. Рисунок 3 показывает адсорбцию монооксида углерода на переходных металлах [2].

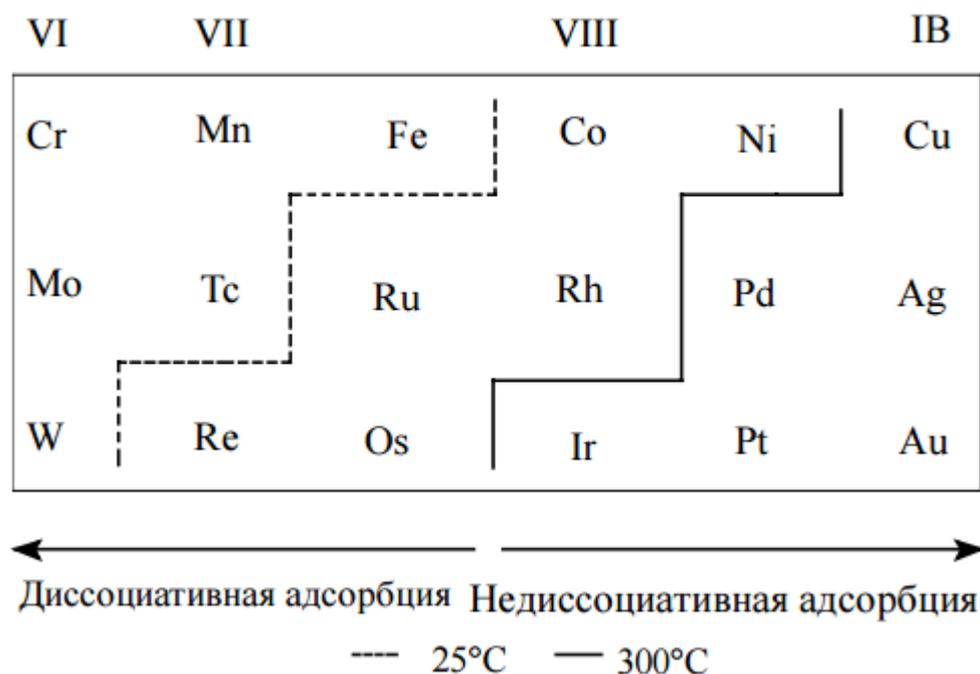
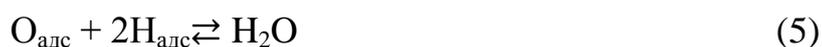


Рисунок 3 – Характер адсорбции СО на переходных металлах

В целом химические превращения, которые происходят на поверхности металлов VIII группы при адсорбции окиси углерода и водорода, могут быть представлены следующей схемой:



Вероятность протекания реакций (5) и (6) и соотношение их скоростей определяются природой металла, которая обуславливает способность кислорода вступать в реакцию по отношению к оксиду углерода и водороду. Так, на кобальтовых катализаторах в обычных условиях синтеза осуществляется в основном взаимодействие (5), а на железных – реакция (6).

1.2.2 Образование активных частиц

Реакции взаимодействия оксида углерода и водорода в синтезе Фишера-Тропша протекают на поверхности катализатора. При этом СО находится в

адсорбированном состоянии. Остается дискуссионным вопрос о том, в каком состоянии находится водород при взаимодействии с СО. В зависимости от катализатора и условий процесса он может реагировать как из газовой фазы, так и будучи адсорбированным на поверхности катализатора. В реакции СО и Н₂ на катализаторе возникают содержащие и не содержащие кислород фрагменты С₁(рисунок 4):

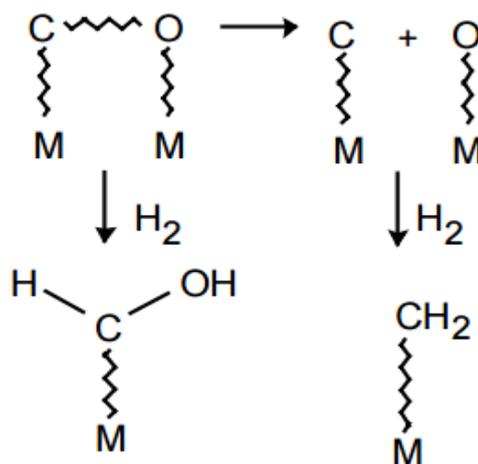


Рисунок 4 – Взаимодействие монооксида углерода и водорода на катализаторе

Как известно, из-за неоднородности каталитической поверхности на ней могут быть различные каталитические центры, которые активируют и реагенты, и продукты синтеза, которые обуславливают их превращения. В условиях синтеза Фишера-Тропша на каталитической поверхности содержится ряд активных частиц (С, СО, СО₂, Н₂О, О, Н, Н₂ и т.д.), которые могут одновременно сосуществовать и взаимодействуют друг с другом и с радикалами, которые образуются из СО и Н₂. Поскольку экспериментально трудно установить стехиометрию поверхностных частиц, которые принимают участие в полимеризационном процессе, то при рассмотрении механизма синтеза Фишера-Тропша часто пользуются обозначениями СН_х или СН_хО для радикалов, которые содержат и не содержат кислород.

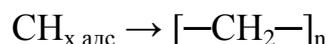
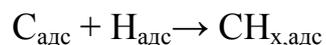
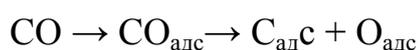
1.2.3 Стадии роста цепи

При изучении механизма синтеза Фишера-Тропша, который является полимеризационным процессом, больше всего обращает на себя внимание – стадия роста углеводородной цепи. В общем виде стадия роста может быть представлена следующим образом:

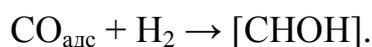


где $C_{n,адс}$ и $C_{n+1,адс}$ – углеводороды, адсорбирующие на поверхности катализатора, или их фрагменты с числом углеродных атомов n и $n+1$ соответственно; $C_{1,адс}$ – структурный поверхностный фрагмент, который обуславливает рост углеродной цепи на один углеродный атом. В зависимости от состава комплекса C_1 можно выделить три основные группы механизма роста цепи в процессе Фишера-Тропша:

1. Диссоциативный механизм ($C_{1,адс}$ не содержит кислорода). Согласно данному механизму, стадией является диссоциативная адсорбция CO, которая определяет скорость реакции. Углерод, полученный таким образом, подвергается неполному гидрированию с генерацией реакционноспособных карбеновых частиц, которые в дальнейшем полимеризуются. Процесс может быть представлен следующим образом:



2. Полимеризационно-конденсационный механизм ($C_{1,адс}$ – кислородсодержащие фрагменты, которые включают также водород). По этому механизму путем поликонденсации интермедиатов, осуществляется увеличение углеводородной цепи (рисунок 5):



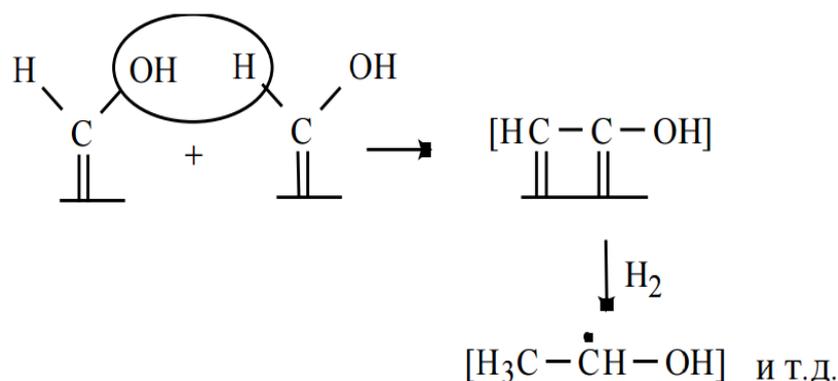


Рисунок 5 – Полимеризационно-конденсационный механизм

3. Механизм роста цепи путем включения CO ($C_{1,адс} = \text{CO}$). В этом случае адсорбированная молекула CO внедряется по связи M—C между поверхностью атома металла и первым углеродным атомом адсорбированной им углеводородной цепи (рисунок 6):

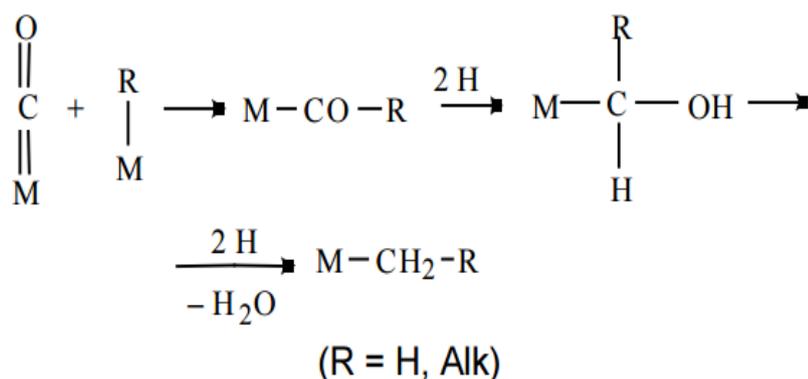
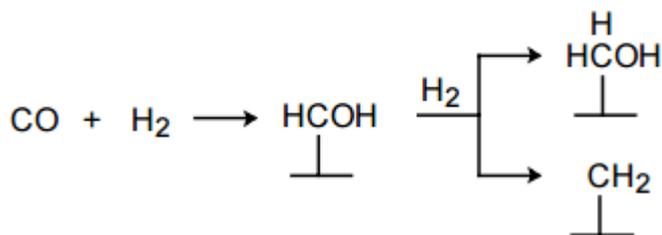


Рисунок 6 – Механизм роста цепи путем включения CO

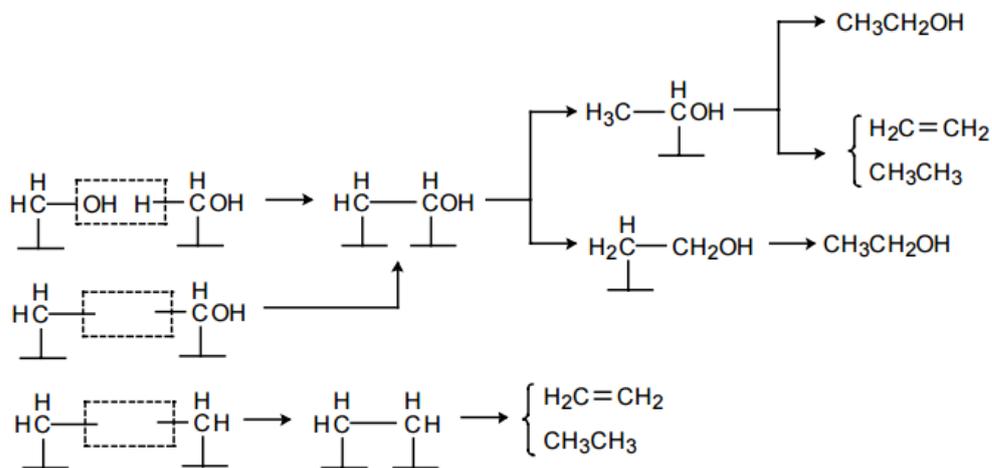
В этих моделях первичными продуктами синтеза углеводородов из CO и H₂ являются простые алканы, их распределение подчиняется законам полимеризации. В целом углеводородные смеси, которые образуются, в них содержатся еще олефины и разветвленные алканы, а также кислородсодержащие соединения. Таким образом, были представлены новые, более сложные механизмы, представляющие в большинстве случаев, сочетание трех основных моделей. С помощью таких «гибридных» механизмов пытаются дать полное объяснение распределения углеводородных продуктов и образование спиртов, альдегидов и кислот. Так, механизм, который предложил А.Н. Башкиров [2] применим к катализу на железных катализаторах (рисунок 7), основывается на предположении, что начальный комплекс HCOH-фрагмент,

при гидрировании которого образуются фрагменты CH_2OH и CH_2 (продукты C_1). Далее продукты C_1 реагируют между собой, давая вторичный кислородсодержащий комплекс C_2 , присоединяющейся к первичным кислородсодержащим фрагментам с образованием C_2 , C_3 и так далее, который обеспечивает конденсационный рост цепи. Таким образом радикалы CH_x и CH_xO могут также взаимодействовать друг с другом, а также с углеводородными цепями, которые растут, что подтверждено экспериментально. Различные пути роста сосуществуют, и их соотношение определяется соотношением скоростей превращения первичной частицы HCOH .

Образование C_1 продуктов



Образование C_2 продуктов



Образование углеводородов C₃ и выше

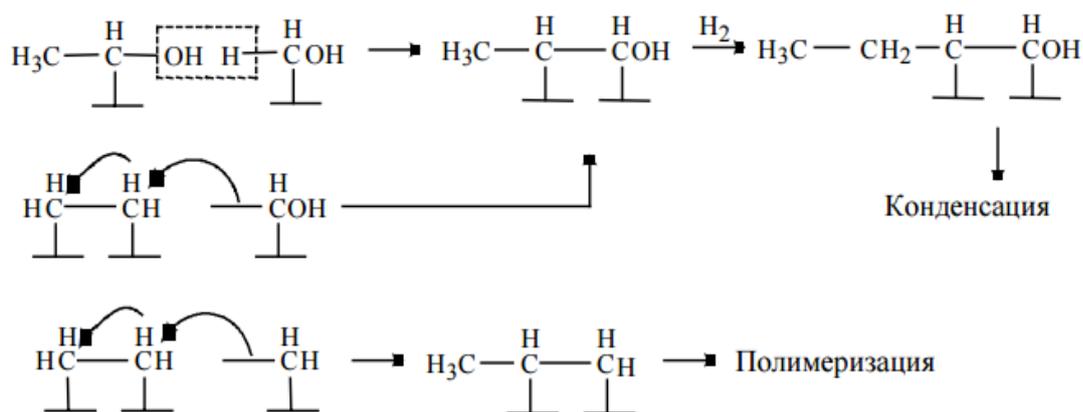


Рисунок 7 – Схема механизма процесса Фишера-Тропша по Башкирову

В механизме, который предложил Драй [2] для синтеза Фишера-Тропша на железных катализаторах, рассмотрены другие пути превращения первичных фрагментов (рисунок 8). При этом сделано предположение о преимущественном образовании радикалов, в которых не содержится кислород. Увеличение цепи происходит посредством полимеризации или включения CO.

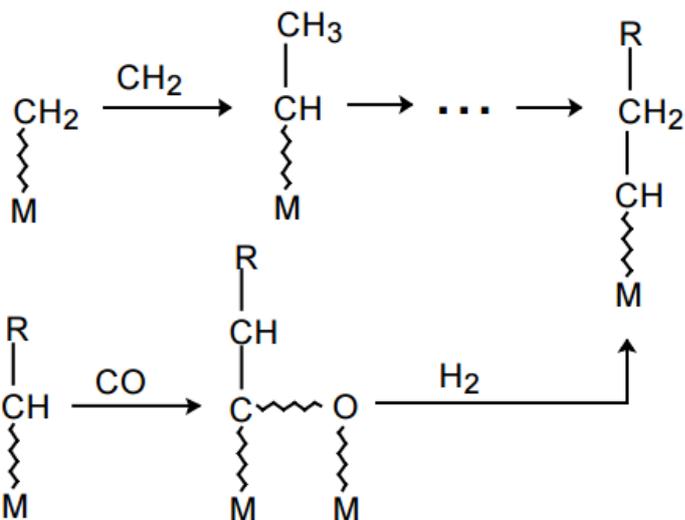


Рисунок 8 – Увеличение углеводородной цепи по Драйю

Столь различные точки зрения о механизме процесса Фишера-Тропша вызваны прежде всего разнообразием активных частиц, которые способны принимать участие в этом процессе. Природа этих частиц описывается в нескольких работах. Здесь следует отметить, что установить четкую зависимость между природой активных частиц и механизмом каталитического процесса очень трудно. Частицы, которые вправду принимают роль в

полимеризационном процессе, могут быть активными, но они не могут быть обнаружены физико-химическими методами, так как в стационарном состоянии концентрация частиц на поверхности очень мала.

1.2.4 Обрыв цепи

На поверхности катализатора в синтезе одновременно могут присутствовать разные активные частицы, такие, как CO_2 , H_2O , O , H , H_2 , и все они могут быть включены в процессы обрыва цепи. Например, прекращение роста цепи, которая не содержит кислород, происходит посредством β -элиминирования водорода или при взаимодействии с молекулярным водородом или CO_2 (рисунок 9):

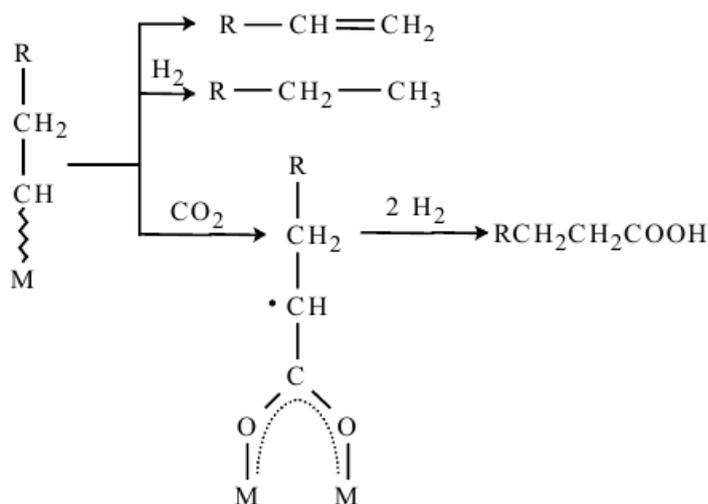


Рисунок 9 – Прекращение роста цепи

При обрыве растущей алкильной цепи путем удаления атома β -водорода образуются α -олефины. Появление небольшого количества цис- и транс- β -олефинов в качестве первичных продуктов возможно, вероятнее всего, в тех случаях, когда углеводородная цепь, которая растет, контактирует собственным β -углеродным атомом с активным центром катализатора и цепь обрывается при элиминировании δ -водорода.

Обрыв цепи содержащей атом кислорода происходит в результате реакции с водородом или H_2O с образованием кислородсодержащие продукты (рисунок 10):

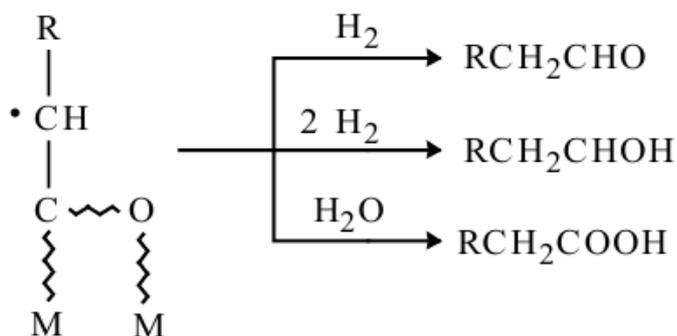


Рисунок 10 – Обрыв цепи

Полимеризационные процессы образования углеводородных продуктов из CO и H_2 рассматривались для синтеза, протекающего на железных катализаторах. По-видимому, нет никакой принципиальной разницы в механизме данного процесса на Co и Fe катализаторах, скорее можно отметить единство реакций инициирования, роста и обрыва цепи на различных типах катализатора. На кобальте и на железе, могут создаваться условия, при которых решающее значение будет иметь либо конденсационный, либо полимеризационный путь роста цепи. В зависимости от состава катализатора и условий синтеза на поверхности устанавливается определенное соотношение концентраций, которые содержат либо не содержат кислород в промежуточных соединениях, что обуславливает вклад того или иного пути роста углеводородной цепи в образование конечных продуктов.

Синтез углеводородов из CO и H_2 на металлических катализаторах происходит в многофазной системе: газовая фаза включает реагенты CO и H_2 , углеводороды C_2 — C_4 и CO_2 , жидкая фаза представлена смесью жидких углеводородов C_5 — C_{18} и растворенных в них твердых продуктов C_{19+} , а также водой; катализатор — твердая фаза.

В условиях синтеза поры катализатора обычно заполнены жидкими продуктами. При отсутствии транспортных ограничений компоненты газовой и жидкой фаз находятся в термодинамическом равновесии и, следовательно,

наличие в порах катализатора жидкой фазы не оказывает никакого влияния на время пребывания продуктов в реакционной зоне, ни на кинетическую движущую силу (летучесть или химический потенциал).

Тем не менее в реальной каталитической системе десорбция вновь образовавшихся соединений затруднена из-за диффузии через предварительно сформированный слой жидких продуктов. Кроме того, чем больше длина цепи синтезированных углеводородов, тем выше их растворимость в тяжелых продуктах, которые заполняют поры. В результате продукты синтеза скапливаются внутри зерен катализатора, что повышает время контакта этих соединений с катализатором и содействует развитию вторичных превращений.

1.3 Кинетика реакций синтеза Фишера-Тропша

Сложность реакций протекающих в синтезе Фишера-Тропша, а также большое количество факторов, влияющих (давление, температура, состав исходного газа, время контакта и другие факторы) создают определённые трудности при построении кинетической модели. Составить универсальное макрокинетическое уравнение реакции Фишера-Тропша невозможно. Для определенного вида катализатора и вида процесса есть свои уравнения, справедливые исключительно для органической области параметров.

Для скорости реакции Фишера-Тропша на кобальтовых катализаторах приводится следующее уравнение [1]:

$$r = k \frac{P_{H_2}^2}{P_{CO}}, \quad (7)$$

где k – константа скорости суммарной реакции.

Хорошо описывает экспериментальные данные в широком интервале рабочих условий для различных железных катализаторов уравнение, предложенное Андерсоном [2]:

$$r = k \frac{P_{H_2}}{1 + b \frac{P_{H_2O}}{P_{CO}}}, \quad (8)$$

где k – константа скорости;

b – коэффициент адсорбции;

$P_{CO}, P_{H_2}, P_{H_2O}$ – парциальные давления компонентов.

Кинетические закономерности образования олефинов и парафинов определяются первоначальными стадиями зарождения углеводородной цепи, если учесть, что рост углеводородной цепи и десорбции как насыщенных, так и ненасыщенных углеводородных молекул происходит через стадию образования первичного хемосорбированного комплекса.

Поэтому при описании скоростей накопления олефиновых и парафиновых углеводородов в синтезе из CO и H₂ на Fe – катализаторах, было использовано следующее выражение[5]:

$$W_1(n) = \frac{R(n) \cdot C_{CO} \cdot C_{H_2}}{C_{CO} + b \cdot C_{H_2O}}. \quad (9)$$

Для реакции гидрирования олефиновых углеводородов было получено следующее уравнение [5]:

$$W_2(n) = \frac{R \cdot C_{C_nH_{2n}} \cdot C_{H_2}}{C_{CO} + b \cdot C_{H_2O}}. \quad (10)$$

Для описания реакции конверсии, которая протекает на окисленных центрах катализатора и играет значительную роль в синтезе, было принято известное уравнение Темкина – Кульковой[5]:

$$W_3(n) = \frac{R \cdot C_{CO} \cdot C_{H_2O} - Kp^{-1} \cdot C_{H_2} \cdot C_{CO_2}}{A \cdot C_{H_2O} \cdot C_{CO_2}}. \quad (11)$$

В приведенных уравнениях $W_1(n), W_2(n), W_3(n)$ – скорости образования алканов, гидрирование алкенов и реакции конверсии соответственно, A, b – адсорбционные коэффициенты.

Анализ литературных данных показал, что все предлагаемые исследователями модели не позволяют рассчитать внутригрупповое распределение углеводов, а лишь описывают суммарную скорость расходования оксида углерода. Часто на практике, рассматривая синтез Фишера-Тропша как полимеризационный процесс, для оценки состава продуктов синтеза пользуются формулой распределения Шульца-Флори и её модификациями, которая позволяет описывать распределение продуктов по молекулярным массам[2]:

$$W_n = n\alpha^{n-1}(1-\alpha)^2, \quad (12)$$

где W_n - весовая доля углеводов с числом углеродных атомов n ;

α - вероятность роста длины цепи.

Очевидно, что искомое распределение углеводов зависит только от одного эмпирического параметра – фактора роста цепи α , который, как показывает анализ литературных данных при различных режимах ведения процесса необходимо рассчитывать в каждом случае отдельно. То есть, при изменении факторов, влияющих на выход продуктов, возникает необходимость расчёта нового коэффициента α . Следовательно, формула Шульца-Флори не позволяет учесть влияние технологических параметров, в частности, температуры, на распределение продуктов в синтезе.

Возникают определённые трудности и при оценке эмпирического вероятностного фактора роста цепи α , который равен[2]:

$$\alpha = \frac{r_t}{r_t + r_p}, \quad (13)$$

где r_t - скорость роста углеводородной цепи;

r_p - скорость обрыва углеводородной цепи.

Кроме того, учитывая особенности механизма образования метана и этилена, целесообразно распределение Шульца-Флори относить только к углеводородам C_3 и выше, а также в случае использования в синтезе

промотированного железного катализатора наблюдается картина ступенчатого характера распределения продуктов, как правило, бимодального, а порой и полимодального. Это также ограничивает возможность использования формулы Шульца-Флори.

Исходя из проведенного анализа литературных данных, можно сделать вывод о необходимости создания кинетической модели, которая в достаточной степени отражала бы механизм синтеза органических соединений из СО и Н₂, позволяла рассчитать выход индивидуальных компонентов и могла быть эффективно использована для целей управления селективностью процесса.

2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является процесс синтеза Фишера-Тропша, протекающий на ультрадисперсном железном катализаторе и кинетическая модель данного синтеза. При разработке кинетической модели был применен метод математического моделирования.

Исследования проводились на лабораторной каталитической установке для исследования процессов в условиях повышенных давлений, разработанной институтом катализа им. Г.К. Бореского. Упрощенная схема изображена на рисунке 11.

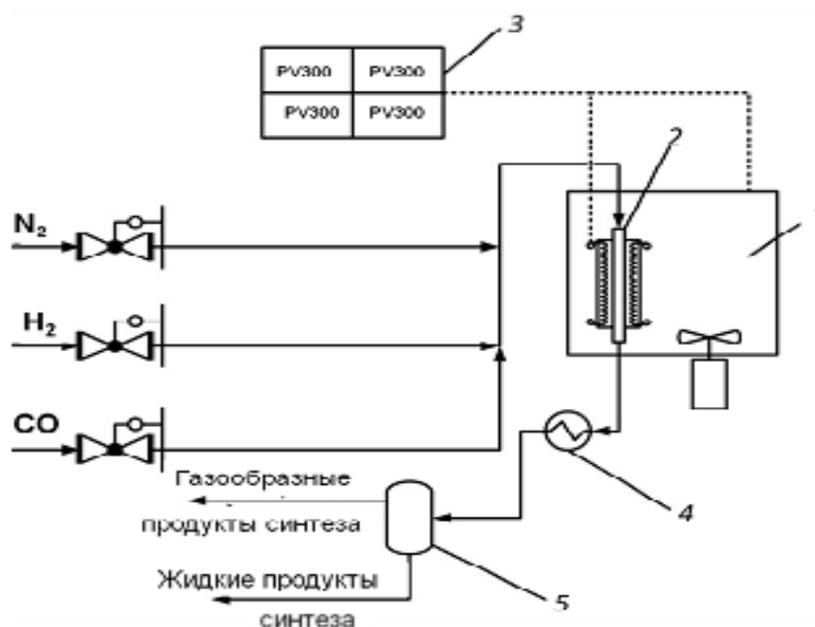


Рисунок 11 – Схема лабораторной каталитической установки:

1 – термощкаф; 2 – реактор; 3 – микропроцессорный регулятор температуры; 4 – продуктовый холодильник; 5 – продуктовый сепаратор

Исходные газы, предварительно смешиваясь, подаются в расположенный в термощкафу 1 реактор 2 трубчатого типа объемом 12 см³. Температура рубашки реактора, воздуха в термощкафе и слоя катализатора контролируется и регулируется микропроцессорным регулятором 3. Газопродуктовая смесь из реактора подается в холодильник 4, где частично конденсируется. Окончательная конденсация и разделение продуктов реакции происходит в сепараторе 5.

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

Водород используется в системе как газовый реагент и подается аналогично азоту (аргону) из баллона. Перепад давления между входом в регулятор и выходом из него никогда не должен превышать 10 бар, т.е. набирать давление в систему необходимо постепенно.

Ультрадисперсный катализатор, на котором были проведено экспериментальное исследование синтеза, получен в Институте физики высоких технологий Томского политехнического университета, которые получили методом электрического взрыва проводников. Порошки представляют собой агрегированные полидисперсные системы, в которых могут присутствовать рентгенаморфные фазы до 30%. Для исследования на лабораторной каталитической установке ультрадисперсный порошок подвергался таблетированию. В качестве связующего вещества использовался поливиниловый спирт с концентрацией 8% масс. Ультрадисперсный порошок обрабатывался раствором связующего вещества, затем подвергался прессованию под давлением 25 МПа, с временем выдержки 30 с. Полученные брикеты высушивались при комнатной температуре в течение суток. Для испытания на каталитической установке использовалась фракция катализатора $5,3 \text{ см}^3$ (8,47 г), размер зерна катализатора 0,5 – 1 мм. Технология получения порошков обеспечивает присутствие в частицах в основном $\alpha\text{-Fe}_{1-\gamma}\text{-Fe}$, около 10% масс – FeO, и не более 5 мас. % Fe_3O_4 . Выбор железа обусловлен тем, что, при прочих условиях, катализаторы на основе железа являются более предпочтительными с экономической точки зрения (по сравнению с кобальтом и никелем).

3 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

В синтезе Фишера-Тропша протекает большое количество химических реакций, которые приводят к образованию органических соединений различных гомологических рядов.

Протекание синтеза зависит от большого количества технологических параметров: давление, температура, время контакта, состава сырья. Все это затрудняет построение кинетической модели данного сложного многокомпонентного процесса. Составить универсальную кинетическую модель синтеза Фишера-Тропша практически невозможно. Для определенного вида катализатора и вида процесса предложены различные уравнения, справедливые для органической области изменения параметров[1,2].

3.1 Анализ экспериментальных данных

На кафедре ХТТ и ХК на лабораторной каталитической установке (рис.1) с использованием ультрадисперсного железного катализатора были проведены экспериментальные исследования синтеза Фишера-Тропша. В приложении А приведены результаты исследований по влиянию температуры и расхода сырья на выход продуктов синтеза, при соотношении в синтез-газе $\text{CO}:\text{H}_2$ равным 1:2.

На основе обработанных экспериментальных данных (Приложение А) построили зависимость концентраций групповых компонентов от температуры (рисунок 12).

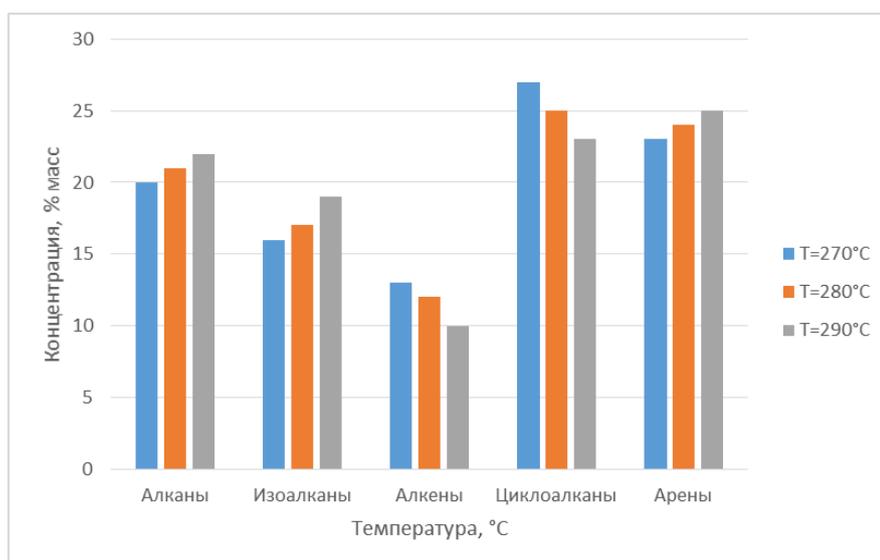


Рисунок 12 – Зависимость концентраций групповых компонентов синтеза от температуры

Анализ продуктов синтеза Фишера-Тропша на ультрадисперсном катализаторе показал, что с ростом температуры увеличивается степень превращения, растет выход алканов, изо-алканов и аренов, в то время как содержание алкенов и циклоалканов падает.

Были обработаны результаты экспериментальных исследований, которые проводились на каталитической лабораторной установке за длительный промежуток времени (5 суток) при следующих условиях: температура 283°C, давление 1,1МПа, соотношение CO:H₂=1:2. Состав газообразных продуктов синтеза Фишера-Тропша приведен в таблице 1. Групповой состав жидких продуктов синтеза Фишера – Тропша показан в таблице 2.

Таблица 1- Состав газообразных продуктов синтеза Фишера-Тропша

Компоненты	Концентрации компонентов	
	% масс.	% объем.
CH ₄	29,21	26,35
CO ₂	42,42	12,77
CO	7,76	4,00
H ₂	7,33	52,96
O ₂	0,08	0,03
C ₂ H ₆	0,66	0,32

Продолжение таблицы 1

C_3H_8	7,09	2,33
<i>i</i> – C_4H_{10}	0,29	0,07
C_4H_{10}	2,47	0,65
<i>i</i> – C_5H_{12}	0,71	0,142
C_5H_{12}	1,37	0,274
C_6H_{14}	0,62	0,105

Таблица 2 - Групповой состав жидких продуктов синтеза Фишера-Тропша

Компоненты	Алканы	Изо-алканы	Алкены	Арены	Циклоалканы
Концентрации, % масс.	54,64	17,57	12,91	10,48	3,92

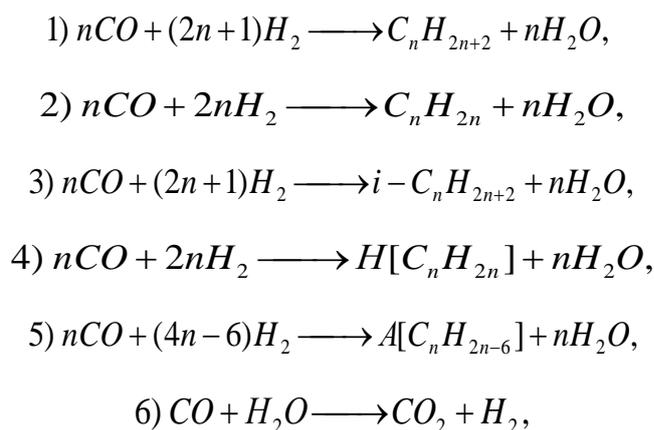
Общий материальный баланс полученных продуктов синтеза представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Материальный баланс синтеза Фишера – Тропша

№	Наименование компонента	Содержание, % масс.
1	CH_4	25,81
2	CO_2	37,51
3	CO	6,86
4	H_2	3,24
5	C_2H_6	0,59
6	C_3H_8	6,27
7	<i>i</i> – C_4H_{10}	0,26
8	C_4H_{10}	2,17
9	Алканы	8,97
10	<i>i</i> - Алканы	2,95
11	Алкены	1,71
12	Циклоалканы	0,52
13	Арены	1,38

3.2 Разработка кинетической модели с учетом группового состава

На основании анализа механизма и кинетики синтеза Фишера-Тропша [1,2,4], а также полученных экспериментальных данных совокупность брутто-реакций представим следующим образом:



где 1,2,3,4,5 – реакции протекающие с образованием соответственно алканов, алкенов, изо-алканов, циклоалканов и аренов, а 6 – реакция конверсии.

На основании предложенной совокупности реакций с учетом группового состава жидких продуктов синтеза была сформирована кинетическая модель процесса, которая представляет собой систему дифференциальных уравнений скоростей превращения компонентов. Математическая модель включает уравнения скоростей как для индивидуальных, так и групповых компонентов.

Математическую модель кинетики синтеза можно представить в следующем виде:

$$\frac{dC_{CO}}{d\tau} = -\sum_{n=1}^{14} nW_1(n) - \sum_{n=2}^{14} nW_2(n) - \sum_{n=1}^{14} nW_3(n) - \sum_{n=5}^{14} nW_4(n) - \sum_{n=6}^{14} nW_5 - W_6, \quad (14)$$

$$\frac{dC_{H_2}}{d\tau} = -\sum_{n=1}^{14} (2n+1)W_1(n) - \sum_{n=2}^{14} 2nW_2(n) - \sum_{n=1}^{14} (2n+1)W_3(n) - \sum_{n=5}^{14} 2nW_4(n) - \sum_{m=6}^{14} (4m-6)W_5 + W_6, \quad (15)$$

$$\frac{dC_{H_2O}}{d\tau} = \sum_{n=1}^{14} nW_1(n) + \sum_{n=2}^{14} nW_2(n) + \sum_{n=1}^{14} nW_3(n) + \sum_{n=5}^{14} nW_4(n) + \sum_{n=6}^{14} nW_5(n) - W_6, \quad (16)$$

$$\frac{dC_{AL}}{d\tau} = \sum_{n=1}^{14} W_1(n) , \quad (17)$$

$$\frac{dC_A}{d\tau} = \sum_{n=2}^{14} W_2(n) , \quad (18)$$

$$\frac{dC_{IAL}}{d\tau} = \sum_{n=1}^{14} W_3(n) , \quad (19)$$

$$\frac{dC_N}{d\tau} = \sum_{n=5}^{14} W_4(n) , \quad (20)$$

$$\frac{dC_{AR}}{d\tau} = \sum_{n=6}^{14} W_5(n) , \quad (21)$$

$$\frac{dC_{CO_2}}{d\tau} = W_6 , \quad (22)$$

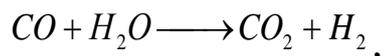
где C_{AL} , C_A , C_{IAL} , C_N , C_{AR} – концентрации групповых компонентов; $W_1(n)$, $W_2(n)$, $W_3(n)$, $W_4(n)$, $W_5(n)$ – скорости образования алканов, алкенов, изоалканов, циклоалканов и аренов соответственно; W_6 – скорость реакции конверсии; n – число атомов углерода в молекуле; τ – время контакта.

В качестве выражения скорости образования углеводородов было принято уравнение Андерсона [2], которое достаточно хорошо описывает образование компонентов в синтезе на железном катализаторе:

$$W_i = \frac{k_i \cdot C_{H_2}}{1 + \frac{b \cdot C_{H_2O}}{C_{CO}}} , \quad (23)$$

где C_{CO} , C_{H_2} , C_{H_2O} – концентрации оксида углерода, водорода, воды; b – коэффициент адсорбции.

В процессе синтеза Фишера-Тропша на железном катализаторе важную роль играет реакция конверсии:



которая описывается уравнением [5]:

$$W_4 = k_3 \cdot \frac{C_{CO} \cdot C_{H_2O}}{A \cdot C_{H_2O} + C_{CO_2}} , \quad (24)$$

где C_{CO} , C_{H_2} , C_{H_2O} , C_{CO_2} – концентрации оксида углерода, водорода, воды и диоксида углерода.

3.3 Результаты проведенного исследования

На кафедре ХТТ и ХК ранее была разработана программа расчета кинетики синтеза Фишера-Тропша для железного катализатора. Данная программа была модифицирована для расчета кинетики процесса с учетом группового состава компонентов (Приложение В). В качестве начального приближения значений кинетических параметров использованы данные ранее разработанной на кафедре кинетической модели синтеза Фишера-Тропша на модифицированном железном катализаторе [4], которые корректировались на основе полученных экспериментальных данных. Суммарные константы скоростей приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Суммарные константы скоростей реакций образования групповых компонентов

Групповые компоненты	Суммарные константы, c^{-1}
Алканы	4,383
Изо-алканы	1,412
Алкены	1,035
Циклоалканы	0,313
Арены	0,843

С применением разработанной программы на алгоритмическом языке Pascal, в которой решение системы дифференциальных уравнений проводилось с использованием метода Эйлера, были проведены расчеты и получены кинетические зависимости, которые представлены на рисунках 13, 14.

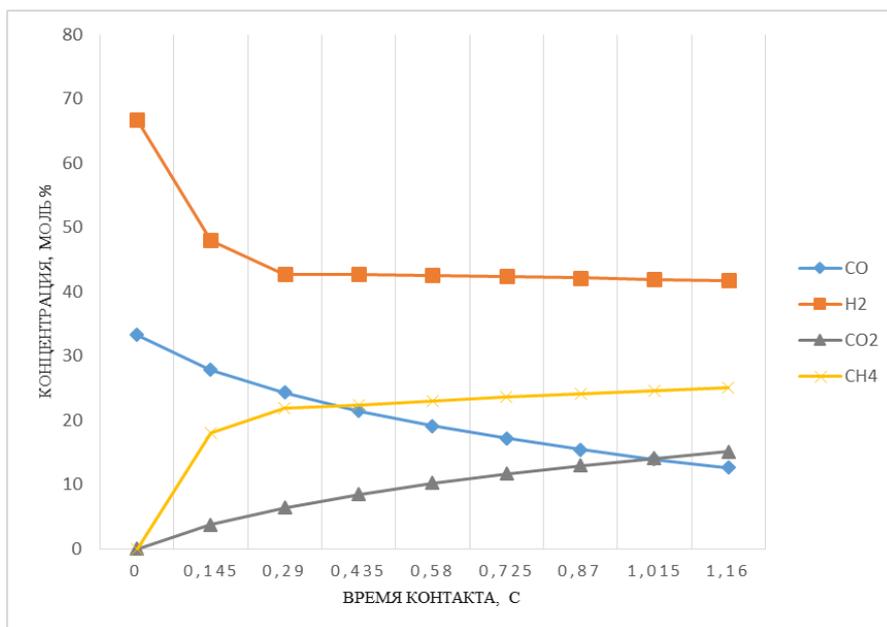


Рисунок 13– Зависимость концентрации компонентов от времени контакта ($T=283^{\circ}\text{C}$, $P=1.1\text{МПа}$, соотношение $\text{CO}:\text{H}_2=1:2$)

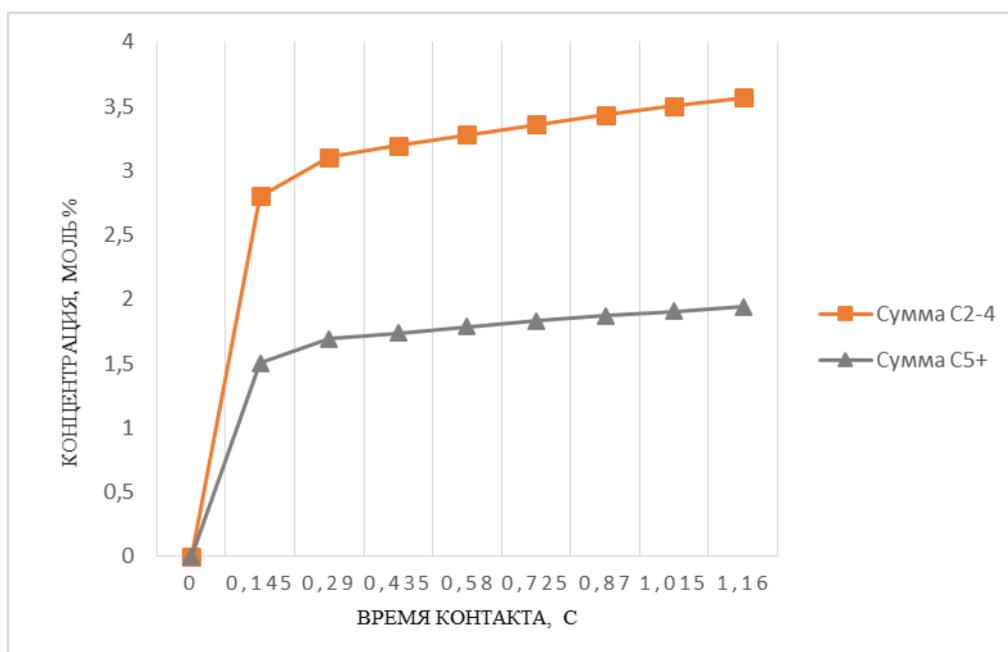


Рисунок 14 – Зависимость концентраций суммарного выхода углеводородов от времени контакта ($T=283^{\circ}\text{C}$, $P=1.1\text{МПа}$, соотношение $\text{CO}:\text{H}_2=1:2$)

Как показано на рисунке 10 наблюдается расходование сырьевых компонентов оксида углерода и водорода, и значительный рост концентрации диоксида углерода. Можно отметить, что в синтезе при данных условиях образуется в достаточно больших количествах метан. С увеличением времени

контакта возрастает выход органических соединений, как более легких, так и высокомолекулярных (рисунок 11).

Сравнение экспериментальных и расчётных данных по составу продуктов синтеза приведено в таблицах 5,6.

Таблица 5-Сравнение расчетных и экспериментальных данных

№	Наименование компонента	Содержание, % масс (экс.)	Содержание, % масс (расч.)
1	CH ₄	25,81	26,24
2	CO ₂	37,51	39,12
3	CO	6,86	6,83
4	H ₂	3,24	2,63
5	C ₂ - C ₄	9,29	7,74
6	C ₅ +	15,53	17,45

Таблица 6- Сравнение расчетных и экспериментальных данных для групповых компонентов в продуктах синтеза

Наименование компонента	Содержание, % масс (экс.)	Содержание, % масс (расч.)	Погрешность, %
Алканы	54,64	55,97	2,38
Изо-алканы	17,57	18,04	2,61
Алкены	12,91	13,06	1,15
Циклоалканы	10,48	8,98	16,7
Арены	3,92	3,95	0,76

После сравнения полученных значений (таблицы 5,6), можно сделать вывод о том, что результаты проведенных исследований показали удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных данных практически по всем групповым компонентам продуктов синтеза Фишера - Тропша. Средняя погрешность не превышает 5 %.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 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.

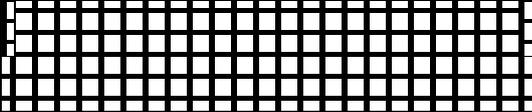
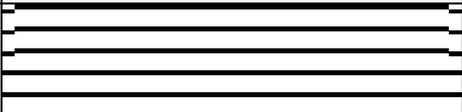
Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием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

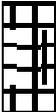
Целесообразно выбрать два наиболее значимых критерия: размер компании и отрасль, по которым будет производиться сегментирование рынка [10].

Как видно из таблицы 7, наиболее перспективным сегментом в отраслях нефтегазодобычи и нефтегазопереработки для формирования спроса является сегмент крупных и средних нефтедобывающих компаний.

Анализ конкурирующих разработок анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Таблица 7 – Карта сегментирования рынка

		Отрасль	
		Газодобывающие предприятия	Нефтегазодобывающие предприятия
Размер	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		

 asol	S	 hevron	C	 rTopsoe	Haldo	 «GTL»	OAO
--	---	--	---	---	-------	---	-----

В таблице 8 представлен сравнительный анализ модели (ϕ), разработанной в рамках выполнения ВКР конкурентной модели (κ_1), выполненной в 2014 году.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		ϕ	κ_1	K_ϕ	K_{κ_1}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,05	4	3	0,2	0,15
2. Удобство в эксплуатации	0,07	5	4	0,35	0,28
3. Энергоэкономичность	0,1	5	3	0,5	0,3
4. Надежность	0,1	4	3	0,4	0,3
5. Безопасность	0,1	5	4	0,5	0,4
Экономические критерии оценки эффективности					
6. Конкурентоспособность продукта	0,11	5	4	0,55	0,44

7. Уровень проникновения на рынок	0,08	4	3	0,32	0,24
8. Цена	0,05	4	3	0,2	0,15
9. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	0,5	0,4
10. Послепродажное обслуживание	0,06	5	4	0,3	0,24
11. Финансирование научной разработки	0,05	4	4	0,2	0,2
12. Срок выхода на рынок	0,08	5	3	0,4	0,24
13. Наличие сертификации разработки	0,05	4	4	0,2	0,2
Итого	1	9	6	4,62	3,5

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле[10]:

$$K = \sum V_i * B_i , \quad (25)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Разрабатываемый проект конкурентоспособен на рынке, главным преимуществом которой является чувствительность к составу перерабатываемого сырья, гарантия послепродажного обслуживания. Уязвимость - критерий «Наличие сертификации разработки». Слабость позиции конкурентов обусловлена низкими значениями по следующим критериям: Повышение производительности труда пользователя, цена.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому

виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ (таблица 9) в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор направления исследований	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
	4	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
Теоретические исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, бакалавр
	6	Проведение компьютерных расчетов	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
Проведение ОКР			
Испытание образца	8	Лабораторные испытания	Бакалавр, Лаборант
Оформление отчета по НИР	9	Оформление отчета	Бакалавр

Подготовка к защите дипломной работы	10	Составление отчета	Бакалавр
Защита дипломной работы	11	Защита	Бакалавр, Руководитель

4.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемая трудоемкость выполнения [10]:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5} \quad (26)$$

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

t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы), чел.-дн.

Ожидаемая трудоемкость для этапов работы, приведенных в таблице 10, рассчитывается по формуле (26):

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 10}{5} = 7.6 \text{ чел. – дн.}$$

Для этапов 2 – 11 расчет производится аналогично.

Продолжительность каждой работы в рабочих днях [10]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i} \quad (27)$$

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

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

Продолжительность каждого этапа работы приведенных в таблице 11 рассчитывается по формуле (27):

$$T_{pi} = \frac{7.6}{1}$$

Результаты расчетов продолжительности одной работы в раб.дн. заносим в таблицу.

Продолжительность выполнения каждого этапа работы, приведенных в таблице 11, рассчитывается по формуле:

$$T_{ki} = 7.6 \cdot 1,48$$

Для этапов 2-11 расчет ведется аналогично.

Коэффициент календарности [10]:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (28)$$

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.

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 119}$$

Исходя их данных в таблице 11, строится календарный план-график, который приведен в таблицу 12.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Обозначения: Исп.1 - Р – руководитель; Исп.2 –Б–бакалавр;

Исп.3 – Л–лаборант

№	Наименование работ	Трудоемкость работ									Исполнители		
		t_{min}			t_{max}			$t_{\text{ож}}$					
		чел-дни			чел-дни			чел-дни			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 и утверждение технического задания	6			10			7,6			Р		

Продолжение таблицы 10

2	Выбор направления исследований	4	2		4	2		2,8	2,8		Р	Б	
3	Календарное планирование работ по теме	6			7			6,4			Р		
4	Подбор и изучение материалов по теме		15			20			17			Б	
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	20 10	20 10		30 20	30 20		24 14	24 14		Б Р	Б Р	
6	Проведение компьютерных расчетов	5 2	5 3		7 5	7 5		5,8 3,2	5,8 3,8		Р Р	Б Б	
7	Оценка эффективности полученных результатов	1 2	1 2		3 5	3 5		1,4 3,2	1,4 3,2		Р Р	Б Б	
8	Лабораторные испытания	3 3	3 3	3 3	7 7	7 7	7 7	4,6 4,6	4,6 4,6	4,6 4,6		Б Б	ЛЛ
9	Оформление отчета		3			7			4,6			Б	
10	Подготовка к защите дипломной работы		5			15			9			Б	
11	Защита дипломной работы	1	1		1	1		1	1		Р	Б	

Таблица 11 – Временные показатели проведения научного исследования

Обозначения: Исп.1 - Р – руководитель; Исп.2 –Б–бакалавр; Исп.3 – Л–лаборант

№	Наименование работ	Длительность работ в рабочих днях, Т _{рi}			Длительность работ в календарных днях, Т _{кi}			Исполнители		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Составление и утверждение технического задания	7,6			11			Р		
2	Выбор направления исследований	1,4	1,4		2	2		Р	Б	
3	Календарное планирование работ по теме	6,4			9			Р		
4	Подбор и изучение материалов по теме		17			25			Б	
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	12 7	12 7		18 10	18 10		Р Р	Б Б	
6	Проведение компьютерных расчетов	2,9 1,6	2,9 1,6		4 2	4 2		Р Р	Б Б	
7	Оценка эффективности полученных результатов	0,7 1,6	0,7 1,6		1 2	1 2		Р Р	Б Б	
8	Лабораторные испытания		2,3 2,3	2,3 2,3		3 3	3 3		Б Б	Л Л
9	Оформление отчета		4,6			7			Б	
10	Подготовка к защите дипломной работы		9			13			Б	
11	Защита дипломной работы	0,5	0,5		1	1		Р	Б	

Таблица 12– Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	, кал.дн.	Продолжительность выполнения работ														
				февр.		март			апрель			май			июнь			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	Р	11	■														
2	Выбор направления исследований	Р, Б	2 2		■													
3	Календарное планирование работ по теме	Р	9			■												
4	Подбор и изучение материалов по теме	Б	25				■	■	■	■								
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Б Р	10 18							■	■	■						
6	Проведение компьютерных расчетов	Б Р	2 4										■	■				
7	Оценка эффективности полученных результатов	Р, Б	1 2											■	■			
8	Лабораторные испытания	Б, Л	3 3												■	■		
9	Оформление отчета	Б	7													■	■	
10	Подготовка к защите дипломной работы	Б	13														■	■
11	Защита дипломной работы	Р, Б	1 1															■

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Расчет затрат на электроэнергию определяется по формуле [10]:

$$E_э = \sum N_i \cdot T_э \cdot Ц_э \quad (29)$$

где N_i - мощность электроприборов по паспорту, кВт;

$T_э$ - время использования электрооборудования, час;

$Ц_э$ - цена одного кВт*ч, руб.

$Ц_э = 1,5$ руб/ кВт*ч

$$E_э = \sum N_i \cdot T_э \cdot Ц_э = 0,645 \cdot 1200 \cdot 1,5 = 1161 \text{ р.}$$

Расчет затрат на специальное оборудование для научных исследований представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования с НДС, тыс. руб.	Мощность электроприбора, кВт	Общая стоимость, тыс. руб.
1.	Каталитическая установка	1	56759	0,295	57059
Итого:					57059

Линейная амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{C}{T_{обі}} \quad (30)$$

где C – стоимость оборудования, $T_{обі}$ – норма использования оборудования, лет.

$$A = \frac{56759}{10} = 5675,9 \text{ руб/год}$$

Для расчета основной заработной платы (таблица 14) используем месячный оклад руководителя и лаборанта

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб	Районный коэффициент	Месячная зарплата, руб./мес.	Общие затраты по заработной плате, руб. (5 месяцев)
Руководитель	23264	1,3	30243,2	151216
Лаборант	13058	1,3	16975	84875
Бакалавр	2500	1,3	3250	16250

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 ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (31)$$

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

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 23264 = 3024,32 \text{руб.} \text{ – для руководителя.}$$

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 13058 = 1697,54 \text{руб.} \text{ – для лаборанта.}$$

В статье расходов 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 (таблица 15).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [10]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (32)$$

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

Таблица 15– Социальные отчисления

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Руководитель проекта	20862	20862	20862	
Лаборант	16975	16975	16975	
Социальные отчисления				
	ПФР (22%)	ФСС (2,9%)	ФОМС (5,1%)	Страхование по классу опасности (0,5%)
Исполнение 1	6014,4	1583,7	2785,2	273,1
Исполнение 2	13271	1749,4	3076,5	301,6
Исполнение 3	3486,7	1382,3	2431	238,3

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов.

В данном исследовании затраты на научные и производственные командировки исполнителей равны нулю.

Контрагентные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

1) Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями. К работам и услугам производственного характера относятся:

- выполнение отдельных операций по изготовлению продукции, обработке сырья и материалов;
- проведение испытаний для определения качества сырья и материалов;
- контроль за соблюдением установленных регламентов технологических и производственных процессов;

- ремонт основных производственных средств;
- поверка и аттестация измерительных приборов и оборудования, другие работы (услуги) в области метрологии и прочее;
- транспортные услуги сторонних организаций по перевозкам грузов внутри организации (перемещение сырья, материалов, инструментов, деталей, заготовок, других видов грузов с базисного (центрального) склада в цехи (отделения) и доставка готовой продукции на склады хранения, до станции (порта, пристани) отправления).

2) Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (со исполнительским) договорам на создание научно-технической продукции, головным (генеральным) исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (33)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

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 (таблица 16).

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Затраты на электроэнергию	1161	1161	1161
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	57059	57059	57059
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	189185	189185	189185
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4722	4722	4722
5. Социальные отчисления	83281,5	91992,5	72692
6. Затраты на научные и производственные командировки	0	0	0
7. Контрагентные расходы	0	0	0
8. Накладные расходы (16 % от суммы ст. 1-7)	59262,32	60714	57548,8
9. Бюджет затрат НТИ	390344,8	457017,3	37816,8

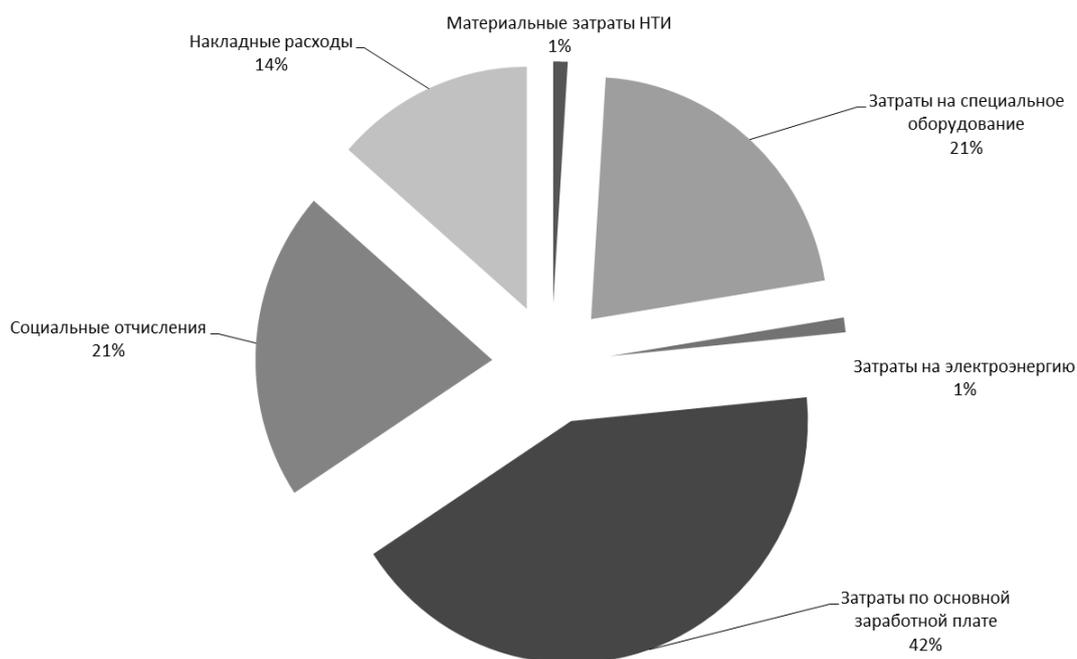


Рисунок 15 – Круговая диаграмма затрат на проведение НТИ

Наиболее затратная часть, как видно из диаграммы, это затраты на специальное оборудование. Большой объем затрат для данной работы обуславливается высокой ценой на каталитическую установку.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (34)$$

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 [10]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (35)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии / Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,1	5	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	3
3. Энергосбережение	0,15	4	4	4
4. Надежность	0,20	3	5	4
5. Воспроизводимость	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	5	5
ИТОГО	1	4,05	4,45	3,9

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности является одним из национальных приоритетов в целях сохранения человеческого капитала[11]. Для этого применяется комплекс мер, содержащий правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [11].

В Статье 37[12] изложены требования безопасности, обеспечивающие охрану здоровья и условий труда на предприятии. На основании Конституции РФ базируется ряд законов и нормативных актов, уточняющих и расширяющих понятие охраны и защиты труда. Трудовой кодекс [11], охватывает вопросы от правового возникновения трудовых отношения, до детального рассмотрения трудового договора, времени отдыха и профессиональной подготовки работника, охраны труда, разрешения трудовых споров и т.д. Для обеспечения соблюдения требований охраны труда на предприятии существует ряд служб, в качестве которых выступают федеральные органы и органы исполнительной власти субъектов РФ[11]. Государственный надзор за исполнением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, осуществляют Генеральный прокурор Российской Федерации и подчиненные ему прокуроры в соответствии с федеральным законом. Согласно[14] непосредственно на предприятии проводится социальная оценка условий труда уполномоченной организацией.

Кроме того возможно создание на предприятии внутренних комиссий или комитетов на базе профсоюзов.

Правовые аспекты взаимоотношений работодателей и работников в области охраны труда (гарантии, права и обязанности работников; обязанности работодателей; полномочия органов государственной власти в области охраны труда и т.д.) изложены в правовом документе [13]. При выполнении бакалаврской работы наиболее важными являются разделы, посвященные

рабочему месту. Работник должен быть проинформирован об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных или опасных производственных факторов [13]. Согласно Статье 8 [13], рабочее место должно соответствовать требованиям охраны труда и быть защищенным от влияния вредных и (или) опасных производственных факторов и её организация должна соответствовать правовым нормам, а также антропометрическим, социальным, психофизическим данным работника.

Так документ [15] является межгосударственным стандартом, и содержит практические рекомендации, предназначенные для использования всеми, на кого возложена ответственность за управление охраной труда [11].

Для выполнения задачи сохранения жизни и здоровья работника, согласно приказу [16], при поступлении на работу проводится медосмотр, с целью проверки здоровья кандидата на соответствие. Согласно Приложению N1 данного документа, во время работы проводятся плановые медосмотры с участием врачей и проведением лабораторных исследований, для выявления воздействия вредных факторов и вероятности развития профессиональных заболеваний. Для сохранения и поддержания здоровья работников, применяют комплексные меры. Они включают в себя средства индивидуальной защиты, которые обеспечивают механическую, термическую, биологическую, химическую, электрическую и радиационную безопасность, а так же согласно документу [17], для снижения вредного воздействия химических факторов (969 компонентов), биологических (микроорганизмы, препараты с живыми клетками) и физических (ионизирующие излучения) работникам выдается молоко питьевое в количестве 0,5 литра за смену для выведения из организма токсических веществ (возможна замена молока равноценными продуктами, согласно Приложению N1 [17] или же денежная выплата). Согласно [18] выполняется бесплатная выдача смывающих и (или) обезвреживающих средств (жидкое и твердое мыло, очищающие и восстанавливающие кремы и т.д.), если выполнение обязанностей работника связано с действием опасных

производственных факторов, температурных условий и загрязнений.

Экспериментальная часть бакалаврской работы осуществлялась на персональном компьютере (далее ПК) при работе с различными программными обеспечениями на кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления, кондиционирования воздуха и естественным и искусственным освещением. Также в аудитории находиться аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером.

5.1 Производственная безопасность

Работа за персональным компьютером регулируется техникой безопасности предприятия и требует соблюдения предписанных норм. При работе с компьютером на человека могут воздействовать следующие опасные производственные факторы:

- поражение электрическим током;
- возникновение пожара;
- возможность механического травмирования;
- ожоги в результате случайного контакта с горячими поверхностями

внутри лазерного принтера.

К вредным физическим производственным факторам относятся:

- повышенный уровень электромагнитного излучения;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенные уровни запыленности воздуха рабочей зоны;
- повышенное содержание положительных и отрицательных ионов в

воздухе рабочей зоны;

- пониженная или повышенная влажность и подвижность воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума;

- нерациональная организация освещения рабочего места.

Одним из наиболее вредных факторов является ЭМП, которое при превышении допустимых уровней оказывает вредное влияние на нервную, иммунную, эндокринную системы человека. Наиболее подвержены влиянию ЭМП кровеносная система, головной мозг, глаза, иммунная и половая системы.

Наибольший вред состоянию здоровья человека наносят блок бесперебойного питания, переходники, незаземлённые розетки, а также мониторы и системные блоки. Основным источником ЭМ излучений от мониторов ПЭВМ является трансформатор высокой частоты строчной развёртки, который размещается в задней или боковой части. Кроме того усилить пагубное воздействие ЭМП может продолжительное время работы, теснота помещения и большое число ПК. Кроме того нарушается работа нервной системы, ослабевает память, повышается утомляемость, нарушается режим сна.

Согласно [19] при напряженности электрического поля в диапазоне в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц и в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц временные допустимые уровни электромагнитного поля составляют 25 В/м и 2,5 В/м соответственно.

Согласно [19] мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса видео дисплейного терминала не должна превышать 1 мкЗв/ч (100 мкР/ч).

Полностью избежать воздействия ЭМП ПЭВМ невозможно. Но можно максимально снизить это воздействие. Меры снижения интенсивности ЭМП состоят в рациональном размещении рабочих мест - соседний ПК должен находиться на расстоянии 1,5 м, особенно его боковые и задние стенки. Отделка помещения должна быть представлена диффузионно-отражающими материалами с заданными коэффициентами отражения. К тому же уменьшение излучения в источнике достигается за счет применения согласованных нагрузок и поглотителей мощности, преобразующих энергию излучения в тепловую.

Шум, как раздражающий фактор, оказывает неблагоприятное

воздействие на организм человека. При работе с ПК возможно появление нервного напряжения и снижение работоспособности. Источники шума - процессор компьютера, электролампы, системы вентиляции и отопления.

В соответствии [20] уровень шума на рабочем месте пользователей ПК не должны превышать значений 50 дБА. В помещениях всех типов образовательных учреждений, в которых эксплуатируются ПЭВМ, уровень вибрации не должен превышать допустимых значений в соответствии с [21]. Рабочее место не имеет собственных источников вибрации, но испытывает обще технологические воздействия. Следовательно, согласно классификации [21] по источнику возникновения вибрации, рабочее место относится к Категории 3 и Типу В.

Особая роль отводится контролю по обеспечению должного уровня освещения рабочего места. Поскольку местом проведения работ является помещение, то возникает необходимость максимального приближения освещения к естественному солнечному, чтобы избежать снижения зрения и повышение утомляемости работника.

Согласно [19] в помещениях для эксплуатации ПК организовано естественное освещение через светопроемы, обеспечивающее коэффициенты естественной освещенности (КЕО) не ниже 1.5%. Искусственное освещение представлено комбинированной системой. Поскольку монитор ПК также является источником света, то рекомендуется в целях снижения мерцания экрана устанавливать частоту кадров 60 Гц для ЖКИ-мониторов.

Согласно пункту 6.15 [19] для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Рабочий стол рекомендуется устанавливать таким образом, чтобы световой поток был направлен слева от работника.

Под термином «микроклимат» понимается совокупность нескольких опасных факторов - температура окружающей среды, влажность воздуха и скорость движения воздуха. Отклонение данных показателей от нормы влияет главным образом на осуществление теплообмена организма с окружающей средой.

На рабочих местах пользователей ПК должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с [22]. Согласно данному документу, работа с ПК относится к категории тяжести работ 1а (работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением). Исходя из данной классификации, температура воздуха должна быть в холодный период года не более 22-24°C, в теплый период года 23-25°C. Относительная влажность должна составлять 40-60%, скорость движения воздуха — 0,1 м/с для холодного и теплого периода года.

Необходимо уделить внимание нормам ПДК вредных химических веществ, так как рабочее место располагается на кафедре, оснащенной оборудованием для проведения работ с химическими реактивами. Согласно [23] рабочая зона представляет собой пространство высотой до двух метров над уровнем пола или площади, на которой находятся места постоянного или временного пребывания работающих. Содержание вредных химических веществ в воздухе помещений, предназначенных для использования ПЭВМ во всех типах образовательных учреждений, не должно превышать предельно допустимых среднесуточных концентраций для атмосферного воздуха в соответствии с источником [23].

При нахождении работника в закрытом помещении, в результате процесса дыхания, происходит выделение "тяжелых аэроионов" -положительно заряженных частиц. Данные компоненты оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека. В связи с этим, аэроионный состав воздуха контролируется при проведении производственного санитарного контроля, при аттестации рабочих мест по условиям труда и др.

В соответствии с [24] нормированию подвергаются концентрации аэроионов положительной и отрицательной полярности r^+ , $r^{3/4}$ и коэффициент униполярности U .

Ионный состав воздуха должен содержать следующее количество отрицательных и положительных аэройонов: минимально необходимый уровень 600 и 400 ионов в 1 см^3 воздуха; оптимальный уровень 3 000-5 000 и 1 500-3 000 ионов в 1 см^3 воздуха; максимально допустимый — 50 000 ионов в 1 см^3 воздуха.

Для нормализации аэроионного состава воздуха в рабочей зоне и обеспечения оптимальных показателей микроклимата в течение рабочего дня используют профессиональное климатическое оборудование, предназначенное для офисных помещений такие как комплексные системы с функциями климат-контроля, кондиционирования, увлажнения, ионизации и антимикробной очистки воздуха, необходима ежедневная влажная уборка и проветривание после каждого часа работы на ПЭВМ.

Процесс на каталитической установке протекает при высоких температурах (до 350°C) и следствием этого является то, что получаемые продукты находятся в жидком и газообразном состоянии. Это делает их более активными. Большинство ядовитых веществ попадает в организм человека через органы дыхания. Это опасно из-за большой всасывающей способности слизистой оболочки носа и дыхательной поверхности легких. В процессе гидрогенизации сырьем является среднее масло, содержащее нафтеновые, парафиновые и ароматические углеводороды. Получаемые бензины содержат до 20% ароматических углеводородов (бензол, толуол и т.д.). Они относятся к ядовитым (токсичным) веществам. Помимо этого в состав выделяющихся газов входят такие газы как сероводород и аммиак.

- Бензол по своему биологическому действию относится по характеру действия к канцерогенам. При непродолжительном вдыхании паров бензола не возникает немедленного отравления, если организм человека подвергается длительному воздействию бензола в малых количествах,

последствия также могут быть очень серьёзными. В этом случае хроническое отравление бензолом может стать причиной лейкемии (рака крови) и анемии (недостатка гемоглобина в крови).

- Тoluол вызывает аналогичные изменения со стороны крови, но несколько слабее, чем бензол.
- Сероводород – высокотоксичный нервный яд, вдыхание которого в концентрации 1000 мг/м³ и выше может привести к смерти. При хроническом отравлении сероводородом у человека наблюдается расстройство нервной, сердечно – сосудистой системы, органов пищеварения и дыхания, ПДК – 10 мг/м куб.

Таким образом действие на организм углеводородных компонентов с сероводородом многообразно. Прежде всего страдает нервная система, сердечно-сосудистая система, возможны поражения печени.

В воздухе кроме токсичных веществ содержится так называемая производственная пыль. В процессе каталитического гидрогенизации выделение пыли происходит при дроблении и транспортировке катализатора. Длительный контакт с производственной пылью в данном случае приводит к хроническому заболеванию легких – силикозу.

Поэтому важно знать какая предельно предельно-допустимая концентрация этих веществ должна быть в воздухе, чтобы они не оказывали сильного влияния на организм человека. По определению ПДК вещества в воздухе рабочей зоны: концентрация которя при ежедневной работе без средств защиты в течении 8 часов или другой продолжительности но не более 40 часов в неделю в течении всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья (таблица 18).

Для некоторых веществ класс опасности может быть изменен на более низкий, даже при высокой ПДК. Это объясняется тем, что при высокой разовой концентрации вещества в рабочей зоне влияние на организм человека может многократно усилится. Примером таких веществ используемых на

рассматриваемом производстве могут являться сероводород, бензол и его гомологи.

Таблица 18 – Предельно-допустимые концентрации токсичных веществ в воздухе рабочей зоны (ГН 2.2.5.1313-03)

Наименование	ПДК рабочей зоны, мг/м ³	Класс опасности	Примечание
Сероводород	10	2	<p>При большой концентрации — в результате поражения обоняния — не чувствуется тяжелый запах сероводорода. При малых концентрациях вначале наблюдается раздражение конъюнктивы и роговицы глаз, симптомы воспаления в носовой полости, кашель, слабость, слюноотделение, головная боль, понижение артериального давления, учащенный пульс; при более длительном поражении может развиваться отек легких.</p>

Окись углерода	20	4	Токсическое действие СО проявляется тканевой гипоксией. СО соединяется с гемоглобином, образуя карбоксигемоглобин
Бензол	5	2	Канцероген
Толуол	50	3	Слабый канцероген
Аммиак	20	4	При остром отравлении аммиаком поражаются глаза и дыхательные пути, при высоких концентрациях возможен смертельный исход.

К средствам защиты от попадания на кожу вредных химических веществ служат резиновые перчатки, лабораторные халаты, шапочки, обувь. Для защиты дыхательных путей от действия вредных химических веществ служат специальные ватно-марлевые повязки, респираторы, противогазы. Для защиты слизистой оболочки глаз можно использовать специальные очки. Средством защиты от поражения вредными химическими веществами служит также точное соблюдение техники безопасности и инструкций к используемым веществам.

Электрические установки, к которым относятся ЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность. В процессе эксплуатации или при проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под током.

Согласно классификации помещений по электробезопасности дипломный проект разрабатывался в помещении без повышенной опасности (класс 01 по ГОСТ 12.1.019 – 85), характеризующимся наличием следующих условий:

- напряжение питающей сети 220В, 50Гц;
- относительная влажность воздуха не более 75%;
- средняя температура не более 35°С;
- наличие деревянного полового покрытия.

При нормальном режиме работы оборудования опасность электропоражения невелика, однако, возможны режимы, называемые аварийными, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящихся под напряжением с заземленными конструкциями.

Основными техническими способами и средствами защиты от поражения электрическим током являются:

- защитное зануление;
- выравнивание потенциалов;
- защитное заземление;
- электрическое разделение сети;
- изоляция токоведущих частей;
- оградительные устройства и другое.

Такие способы, как защитное заземление и изоляция применяются в помещении отдела разработки печатных плат. Из реально возможных аварийных случаев можно выделить пробой изоляции. В лаборатории отдела разработки печатных плат не имеется не защищенных изоляцией токоведущих частей электроустановок. Для контроля состояния электрической изоляции проводов, производят периодические испытания изоляции. Периодическое измерение сопротивления изоляции позволяет своевременно выявить и устранить повреждения.

5.2 Охрана окружающей среды

Вредное воздействие предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности распространяется, главным образом, на водные бассейны и атмосферу. Эта промышленность относится к наиболее водоемким отраслям народного хозяйства. По объектам водопотребления её опережает лишь энергетика, металлургическая, химическая промышленность и коммунальное хозяйство.

Для борьбы с загрязнением атмосферы на каталитической установке применяют следующие меры:

- воздух, с компрессорных установок проходит очистку в центробежных циклонах, после чего сбрасывается в атмосферу;
- газы, которые не могут быть использованы в дальнейшем для переработки подаются на факельную установку;
- совершенствование производства и создания новых технологий (например, безотходная технология для совместного получения АИ-93 и А-76, переход на производство неэтилированного бензина, уменьшение ароматических углеводородов в бензине;
- каталитический дожиг выбросов.
- использование котлов утилизаторов для использования тепла отходящих газов с целью снижения теплового загрязнения атмосферы.
- сооружения линий аварийных сбросов давления в факельную линию.

Воздействие на гидросферу отсутствует, так как слив вредных веществ отсутствует. Воздействие на литосферу отсутствует, так как выброс твердых остатков отсутствует.

5.3 Анализ факторов, характеризующих возникновение чрезвычайных ситуаций

При эксплуатации электрооборудования (в данном случае ПК) возможно возникновение чрезвычайных ситуаций, требующих обеспечения электро- и пожарной безопасности на рабочем месте. Источниками возникновения пожара могут быть электрические схемы от ЭВМ, устройства электропитания, кондиционирования воздуха. В данных объектах по некоторым причинам (снижение сопротивления изоляции, ослабление контактов, перегрузка сетей, короткое замыкание) возникает перегрев элементов, что приводит к появлению искр и возгоранию.

Согласно [26] не электротехническому персоналу, выполняющему работы, при которых может возникнуть опасность поражения электрическим током, присваивается группа I по электробезопасности.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. На кафедре размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, кроме того размещен схематичный план эвакуации людей при пожаре; дополнительно разработана инструкция, определяющая действия персонала в случае возникновения очага возгорания. Согласно Статье 11 [28] установлен и выполняется запрет на курение в помещении. Определен порядок хранения и уборки отходов химических веществ, так как они используются рядом с рабочим местом. В соответствии с требованиями пожарной безопасности и охраны труда, проводится регулярный инструктаж и проверка знаний по технике безопасности на рабочем месте. Помещение оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушители, лопаты, ящики с песком, асбестовые одеяла.

Горючие компоненты в помещении - строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция кабелей и др.

В случае возникновения пожара, необходимо предпринять следующие меры: обесточить помещение, вызвать службу пожарной охраны. Если горит электроприбор (ПК) - накрыть его асбестовым одеялом или другим плотным материалом и дождаться прекращения горения из-за отсутствия доступа кислорода. Затем воспользоваться порошковым огнетушителем. Если масштабы возгорания велики, то необходимо закрыть дверь в горящее помещение, чтобы снизить скорость распространения огня, соблюдать спокойствие и эвакуироваться.

5.4 Правовые вопросы обеспечения безопасности

При выполнении научно-исследовательской работы необходимо следовать требованиям трудового кодекса РФ.

Согласно [23], необходимо проводить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Проект перечня национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимо использовать средства индивидуальной защиты [24].

Во избежание несчастных случаев, следует проводить обучение и проверять знания работников [26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтез углеводородов из монооксида углерода и водорода относится к многокомпонентным процессам. Сложность реакций, протекающих в синтезе, и большое число факторов, оказывающих на них влияние (давление, температура, состав исходного газа, время контактирования и т.д.) затрудняет построение кинетической модели процесса.

Были проведены экспериментальные исследования синтеза Фишера-Тропша на ультрадисперсном железном катализаторе. При анализе результатов выявлено, что на данном катализаторе в составе жидких продуктов в значительных количествах содержатся изо-алканы, циклоалканы и арены, что существенно отличает его от ранее применяемых катализаторов.

Показано, что увеличение температуры приводит к существенному росту степени превращения, однако селективность образования групповых компонентов изменяется незначительно.

На основе разработанной, на кафедре ХТТ и ХК кинетической модели синтеза Фишера-Тропша на модифицированном железном катализаторе, была сформирована модель кинетики процесса на ультрадисперсном катализаторе с учетом группового состава компонентов. Результаты исследований показали, что в жидком продукте синтеза в преобладающем количестве содержатся алканы (55%) и в значительных количествах присутствуют изо-алканы и арены.

В дальнейшем для совершенствования кинетической модели с использованием дополнительно полученных экспериментальных данных необходимо оценить значения кинетических параметров и уточнить механизм синтеза.

В ходе выполнения исследований раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» рассчитали бюджет НИИ для различных вариантов исполнения, на основании чего определили финансовый показатель разработки, показатель ресурсоэффективности, интегральный показатель эффективности.

При выполнении раздела «Социальная ответственность» рассмотрели безопасность на производстве, правовые вопросы обеспечения безопасности, сделали анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте, также анализ факторов, которые характеризуют возникновение чрезвычайных ситуаций.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Ефремова Е.В., Григорьева М.М. Разработка кинетической модели синтеза органических соединений из СО и Н₂ / XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке». Материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Химия (Томск, 17 – 20 мая 2016 г.). – Томск: Издательство Томский политехнический университет, 2016. – Химия – с. 341.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Химическая технология нефти и газа. Конспект лекций: учебное пособие / авторы-сост.: Е.Н. Ивашкина, Е.М. Юрьев, А.А. Салищева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 158 с.
2. Лapidус А.Л., Крылова А.Ю. О механизме образования жидких углеводородов из СО и Н₂ на кобальтовых катализаторах // Российский химический журнал. – 2000. – № 1. – С. 43-56.
3. Караханов Э.А. Синтез-газ как альтернатива нефти. Процесс Фишера - Тропша и оксо – синтез // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 3. – С. 69-74.
4. Ушева Н.В., Левашова А.И., Мойзес О.Е., Федяева И.М., Кравцов А.В. Моделирование технологических процессов синтеза Фишера-Тропша // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – т. 307, №7. – С. 93 – 95.
5. Кравцов А.В. Математическое моделирование многокомпонентных химических процессов: учебное пособие / А.В. Кравцов, Н.В. Ушева, О.Е. Мойзес, А.Ф. Федоров; Томский политехнический университет. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – 108 с.
6. Левашова А. И., Кравцов А. В., Сухинина О. С. Теоретические основы химической технологии топлива и углеродных материалов: учебное пособие. – Томск : Изд-во ТПУ, 2007. – 156 с.
7. Лapidус А. Л., Цапкина М.В., Крылова А. Ю. Биметаллические кобальтовые катализаторы синтеза углеводородов из СО и Н₂ // Успехи химии. – 2005. – № 74. – с. 634.
8. Hans Schulz. Fischer-tropsch principles of cohydrogenation on iron catalysts // Preprints of Papers – American Chemical Society, Division of Fuel Chemistry. – 2003. – 48(2). – P. 557.

9. Синтез Фишера-Тропша. Особенности синтеза в газовой фазе. – 2011. [Электронный ресурс].Режим доступа URL:<http://e-him.ru/?page=dynamic§ion=52&article=627>.

10. 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. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

11. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (принят ГД ФС РФ 21.12.2001) (ред. от 30.12.2008)// СПС Консультант.

12. Конституция Российской Федерации (принята на всенародном голосовании 12 декабря 1993 г.).

13. Федеральный закон от 17.07.1999 N 181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (ред. от 09.05.2005, с изм. от 26.12.2005) // СПС Консультант.

14. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда".

15. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.0.230-2007 «Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда. Общие требования.ILO-OSH2001».

16. Приказ от 12апреля 2011г. N 302н “Об утверждении перечня вредных и(или)опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования),и порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров(обследований) работников, занятых на тяжелых работах с вредными и (или) опасными условиями труда”.

17. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 16 февраля 2009 г.N 45 "Об утверждении норм и условий бесплатной выдачи

работникам, занятым на работах с вредными условиями труда, молока или других равноценных пищевых продуктов, Порядка осуществления компенсационной выплаты в размере, эквивалентном стоимости молока или других равноценных пищевых продуктов, и Перечня вредных производственных факторов, при воздействии которых в профилактических целях рекомендуется употребление молока или других равноценных пищевых продуктов"

18. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 17 декабря 2010 г. N 1122н "Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи работникам смывающих и (или) обезвреживающих средств и стандарта безопасности труда "Обеспечение работников смывающими и (или) обезвреживающими средствами"

19. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 13 июня 2003 г. № 118 г. Москва.

20. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России 31 октября 1996 г. № 36. Москва.

21. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.566-96: утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 г. № 40. Москва.

22. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.548-96: утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 1 октября 1996 г., № 21. Москва.

23. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в

воздухе рабочей зоны: гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03: утверждены главным государственным санитарным врачом РФ 27.04.2003. Москва.

24. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1294-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 18 апреля 2003г. Москва.

25. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок; приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н, зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593.

26. Федеральный закон от 23 февраля 2013 г. N 15-ФЗ "Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака".

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Выход продуктов синтеза Фишера - Тропша, % масс.

Расход, мл/мин	400	400	400	150
Температура, °С	T=270°С	T=280°С	T=290°С	T=280°С
Наименование компонента				
Алкены				
0-6	1,13	1,04	0	
0-7	1,45	1,25	1,11	
0-8	2,19	2,12	1,96	1,01
0-9	4,04	3,61	3,35	6,50
0-10	4,23	4,11	3,99	
Сумма алкенов	13,04	12,13	10,423	7,76
Циклоалканы				
н-8	8,48	7,86	6,97	4,96
н-9	17,72	16,16	15,73	12,72
н-10	0,67	0,68	0,52	1,35
н-11				1,01
Сумма циклоалканов	26,87	24,70	23,22	20,71
Изоалканы				
и-п-8	1,77	1,89	2,01	
и-п-9	5,74	5,89	5,02	10,61
и-п-10	7,74	8,06	8,34	8,28
и-п-11	0	0	2,64	1,26
и-п-12	0,88	1,10	1,41	2,20
Сумма изоалканов	16,12	16,92	19,41	23,09
Алканы				
п-8	3,54	3,42	3,32	4,21
п-9	3,00	2,87	2,76	3,29
п-10	2,13	2,02	2,05	2,56

п-11	0,84	0,90	0,91	1,26
п-12	1,26	1,31	1,32	1,79
п-14	3,76	4,21	4,25	4,49
п-15	5,63	6,51	6,71	8,00
Сумма алканов	20,16	21,25	21,32	26,45
Арены				
а-8	4,62	4,68	4,70	2,88
а-9	0,99	1,00	1,05	1,36
а-10	15,68	16,23	17,26	13,42
а-11	1,17	1,32	1,47	1,91
а-12	0,62	0,83	0,89	1,61
Сумма аренов	23,08	24,06	25,37	21,88
Общая сумма	100	100	100	100

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Расчет выхода продуктов синтеза Фишера-Тропша на ультрадисперсном железосодержащем катализаторе в среде программы Pascal