

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология», профиль «Химическая технология подготовки и переработки нефти и газа»
 Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование совместной конверсии масел и тяжелого нефтяного сырья

УДК 665.62.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Логачева Дарья Николаевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Белинская Н.С.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер ОХИ ИШПР	Кривцова К.Б.	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Л.Ю.	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОСГН ШБИП	Гуляев М.В.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Юрьев Е.М.	К.Т.Н.		

**ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
(ООП 18.03.01 Химическая технология)**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать <i>новые</i> технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, <i>проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды</i>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, <i>выводить на рынок новые материалы</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 18.03.01 «Химическая технология», профиль
 «Химическая технология подготовки и переработки нефти»
 Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Логачева Дарья Николаевна

Тема работы:

Исследование совместной конверсии масел и тяжелого нефтяного сырья	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 02.02.2021 №33-23/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14 июня 2021 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>Объектом исследования является мазут тяжёлой нефти Усинского месторождения с повышенными значениями плотности и вязкости.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор литературе по тематике крекинга углеводородов альтернативными методами. Проведение опытов по крекингу углеводородов с добавлением растительного масла и микросферы ТЭЦ зол в качестве иницирующих добавок.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант

<i>Литературный обзор; Объект и методы исследования; Результаты исследования</i>	Кривцова К.Б., инженер ОХИ ИШПР
<i>Финансовый менеджмент</i>	Спицына Л.Ю., к.э.н., доцент ОСГН ШБИП ТПУ
<i>Социальная ответственность</i>	Гуляев М.В., старший преподаватель
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
—	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.02.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Белинская Н.С.	научный сотрудник		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Логачева Д.Н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Логачевой Дарье Николаевне

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ»: оклад доцента – 35 120 руб., оклад исполнителя равен минимальному размеру оклада (1 квалификационный уровень) – 12 130 руб</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4,9 баллов из 5</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисление во внебюджетные фонды – 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта Определение затрат на проектирование (смета затрат)</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет интегрального показателя эффективности проекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>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 ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Логачева Дарья Николаевна		

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Д7В	Логачева Дарья Николаевна

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 «Химическая технология»

Тема ВКР:

<i>Исследование совместной конверсии масел и тяжелого нефтяного сырья</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является исследование совместной конверсии масел и тяжелого нефтяного сырья Область применения: Работа направлена на разработку и исследование нового альтернативного метода переработки нефтяного остатка Усинского месторождения с растительным маслом, позволяющего многократно повысить конверсию самого сырья и выход светлых фракций. (аудитория №134 учебного корпуса №2 НИ ТПУ).
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность:	Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов: – Неудовлетворительный микроклимат; – Повышенный уровень шума; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Поражение электрическим током – Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования – Повышенные уровень шума и вибрации на рабочем месте; – Повышенный уровень напряженности электростатического поля, электромагнитных полей; – Пожаровзрывоопасность на объектах.
3. Экологическая безопасность:	– Анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу. – Решение по обеспечению экологической безопасности.

<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Анализ 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. – Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
---	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д7В	Логачева Дарья Николаевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 111 с., 17 рисунков, 33 таблиц, 58 литературных источников.

Ключевые слова: тяжелые нефтяные остатки, тяжелое нефтяное сырье, мазут, растительное масло, альтернативные методы переработки.

Объектом исследования является мазут тяжёлой нефти Усинского месторождения с повышенными значениями плотности и вязкости.

Цели работы: изучение влияния добавки растительного масла к тяжелому сырью в процессе термического крекинга с последующим установлением закономерностей изменения состава продуктов; оценка эффективности процесса термического крекинга с масляной добавкой как метода переработки тяжелого сырья.

В процессе исследования проведён крекинг мазута при добавлении масляной добавки в различной концентрации, был определён вещественный состав высокомолекулярных компонентов мазута, определен состав полученных газовых фракций, сделан термогравиметрический анализ (ТГА) продуктов, получены ИК-спектры, молекулярная масса, газожидкостная хроматография (ГЖХ) бензиновой фракции.

Область применения: нефтехимическая и нефтеперерабатывающая промышленность.

Данная работа показывает перспективы углубления переработки тяжёлого нефтяного сырья, улучшения его реологических и химических свойств посредством его деструкции с добавкой подсолнечного масла.

Определения, условные обозначения и сокращения

АСПО – асфальтосмолопарафиновые отложения

ВСГ – водородсодержащий газ

ГЖХ – газожидкостная хроматография

ДС – дисперсная система

ИК-спектры – инфракрасные спектры

МС – микросферы

НДС – нефтяная дисперсная система

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

НПМ – нерафинированное подсолнечное масло

САВ – смолисто-асфальтеновые вещества

ССЕ – сложная структурная единица

ТГА – термогравиметрический анализ

ТНС – тяжелое нефтяное сырьё

УЗО – ультразвуковая обработка

УМ – Усинский мазут

Содержание

Введение.....	14
1 Литературный обзор	17
1.1 Тяжелое нефтяное сырьё	17
1.1.1 Классификация тяжелого нефтяного сырья.....	18
1.1.2 Основные физико-химические характеристики тяжелого нефтяного сырья	20
1.1.3 Асфальтены и смолы как основная составляющая тяжелого нефтяного сырья.....	21
1.2 Процессы переработки/облагораживания тяжелого нефтяного сырья	24
1.2.1 Традиционные методы переработки.....	24
1.2.1.1 Каталитические процессы.....	24
1.2.1.2 Термические процессы	26
1.2.1.2.1 Процессы коксования.....	27
1.2.2 Альтернативные методы переработки.....	28
1.2.3 Концепция «зеленая химия» в рамках переработки ТНС	31
1.2.3.1 Влияние масел различного сорта на процессы термического превращения ТНС	35
1.2.3.2 Возможное направление реакций в присутствии масел в процессе термолиза.....	35
2 Объекты и методы исследования	37
2.1 Характеристики объекта исследования	37
2.2 Обоснование выбора объектов исследования.....	38
2.3 Описание применяемых методик	41
2.4 Методы исследования.....	43
2.4.1 Определение физико-химических показателей.....	43

2.4.2	Хроматография углеводородных газов	43
2.4.3	Вещественный анализ.....	44
2.4.4	ИК-спектрометрия	44
2.4.5	Термогравиметрический анализ	45
2.4.6	Газожидкостная хроматография бензиновой фракции.....	45
3	Обсуждение результатов	46
3.1	Закономерности превращений светлой дистиллятной части продуктов термолиза.....	49
3.2	Закономерности превращений высокомолекулярной части продуктов термолиза	54
3.3	Гипотетические механизмы превращений высокомолекулярных компонентов ТНС в присутствии добавки НПМ.....	56
3.4	Технологическая разработка.....	58
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	61
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсоснабжения	61
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	61
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	62
4.1.3	SWOT-анализ.....	63
4.2	Планирование научно-исследовательских работ	67
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	67
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	68
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	68
4.2.4	Бюджет научно-технического исследования	72

4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	73
4.2.4.3 Основная заработанная плата исполнителей темы	74
4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	75
4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	76
4.2.4.6 Накладные расходы	77
4.2.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	77
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	77
5 Социальная ответственность	81
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	81
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	81
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновки рабочей зоны	82
5.2 Профессиональная социальная безопасность	82
5.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов	83
5.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата.....	84
5.2.1.2 Повышенный уровень шума	85
5.2.1.3 Освещенность рабочей зоны	86
5.2.1.3 Поражение электрическим током	87
5.2.1.4 Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте	89
5.2.1.5 Повышенный уровень напряженности электростатического поля, электромагнитных полей.....	90
5.2.1.6 Пожаро и взрывоопасность.....	91

5.2.1.7 Наличие вредных веществ при проведении работы.....	92
5.2.1.8 Термическая опасность	94
5.2.1.9 Ожоги при работе с кислотами и щелочами	94
5.3 Экологическая безопасность	95
5.3.1 Воздействие на атмосферу.....	96
5.3.2 Воздействие на гидросферу	96
5.3.3 Воздействие на литосферу	96
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
5.4.1 Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения	97
5.4.2 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.....	98
Заключение	100
Список публикаций студента	102
Список используемой литературы	106

Введение

В настоящее время общей тенденцией нефтяной отрасли является вовлечение тяжелого нетрадиционного сырья (природные битумы, битуминозные пески, асфальт), тяжёлые нефти и нефтяные остатки в процесс переработки. В виду специфичности сырья их переработка по классическим схемам, которые применяются на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), неэффективна и нерентабельна. Из-за того, что стандартные технологии не учитывают особенности тяжелого сырья, становится невозможно использовать эти технологии к переработке тяжелого нефтяного сырья (ТНС) с приемлемой глубиной конверсии.

Рационально, с точки зрения увеличения выхода дистиллятных фракций, дешевизны и эффективности, использовать комплексный подход по переработке тяжелого сырья, первоначально применяя термические процессы с последующим облагораживанием полученных продуктов для получения товарных продуктов.

На сегодняшний день основным облагораживающим процессом нетрадиционного сырья является глубокая переработка за счет гидроконверсии, мощность которой составляет 35-40 % от суммарной мощности НПЗ по сырой нефти. Она позволяет удалить вредные сернистые и азотистые соединения и получить широкий ассортимент продуктов: керосиновые и дизельные топлива. Остаток, выкипающий от 350-530 °С, характеризующийся низким содержанием гетероатомных соединений и высоким содержанием ненасыщенных углеводородов, используется как котельное топливо, либо как компонент сырья каталитического крекинга [1]. Однако для гидрокрекинга тяжелое сырьё смешивается с водородсодержащим газом (ВСГ), поэтому несмотря на высокую эффективность данного процесса существует необходимость создания новых или модернизации старых методов переработки сырья без применения ВСГ.

Одним из перспективных методов облагораживания тяжёлой нефти и ТНС является крекинг с различными добавками (уголь, микросферы зол теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), порошки металлов, биомассы). На сегодняшний

день важным становится вопрос о применении в качестве добавки возобновляемых природных источников, например, растительных масел. Термолиз с масляной добавкой представляет собой процесс термического воздействия (450 °С, 14,7 Мпа) на сырьё в присутствии нерафинированного подсолнечного масла (НПМ) [2].

В связи с этим актуальным вопросом становится введение в переработку ТНС различных возобновляемых источников, благодаря которым происходит не только интенсивное перераспределение компонентов внутри системы, но также решается экологическая проблема утилизации отработанного растительного масла.

Цели данной работы:

- 1) изучить влияние растительного масла на глубину конверсии мазута в процессе термического крекинга;
- 2) разработать гипотетические механизмы превращений отдельных групп соединений, входящих в состав мазута в процессе термического крекинга с различными интенсифицирующими добавками (растительное масло, микросферы).

Задачи исследования:

1. Провести термический крекинг мазута нефти Усинского месторождения без масляной добавки и термический крекинг с растительным маслом в различных концентрациях.
2. Провести анализ вещественного состава исходного образца и продуктов крекинга.
3. Провести хроматографический анализ газовой фракции продуктов крекинга.
4. Подобрать оптимальное соотношение масло: сырьё для проведения термического крекинга мазута с растительным маслом.
5. Провести процесс термического крекинга мазута нефти Усинского месторождения с эффективной концентрацией масла с добавкой микросфер зол ТЭЦ.

6. Провести анализ вещественного состава продуктов крекинга Усинского мазута с эффективной концентрацией масла и микросферами, провести хроматографический анализ газовой фракции продуктов крекинга с добавкой микросфер.
7. Описать гипотетические механизмы превращений высокомолекулярных компонентов в процессе совместной конверсии тяжелого остатка с масляной добавкой, а также в присутствии микросфер.

Методы исследования:

Определение плотности и кинематической вязкости образца исходного мазута проводилось в соответствии ГОСТ Р 51069-97 и ГОСТ 33-2000. Плотность и кинематическая вязкость мазута после крекинга с добавкой масла и микросфер определены с помощью вискозиметра Штабингера SVM 3000 в соответствии с ASTM D 7042-14. Анализ по определению содержания общей серы в образцах проведён с помощью энергодисперсионного рентгено-флуоресцентного анализатора «Спектроскан S» согласно ГОСТ Р 51947-2002.

Для продуктов после проведения термолиза был проведен вещественный анализ с помощью «горячего» метода Гольде, молекулярная масса определялась методом криоскопии в бензоле и нафталине, индивидуальный анализ газов – методом газовой хроматографии, ТГА с помощью DERIVATOGRAPH «Q-1000», ИК-спектры с помощью ИК-Фурье преобразователя, ГЖХ бензиновой фракции с использованием хроматографа Крисалл-5000.2.

1 Литературный обзор

1.1 Тяжелое нефтяное сырьё

Для увеличения выхода светлых фракций используют различные деструктивные процессы переработки, такие, как гидрокрекинг, каталитический и термический крекинг. Висбрекинг является неглубоким термическим крекингом, дающим газ, бензиновую фракцию, газойль и котельное масло. С помощью термокрекинга получают твердые вещества. С помощью каталитического крекинга можно получить легкие фракции (бензин, легкий газойль каталитического крекинга, тяжелый газойль каталитического крекинга). Термокаталитический крекинг идёт при больших давлениях и температурах, чем каталитический крекинг и термокрекинг, за счет чего происходит глубокая деструкция сырья до CO_2 и H_2 . Для данных методов переработка ТНС является очень затруднительной из-за содержания высокомолекулярных соединений (ВМС) (смола и асфальтенов), металлов, гетероатомов. Еще одним отрицательным качеством ТНС является склонность к конденсации и коксообразованию, что затрудняет использование традиционных процессов переработки тяжелых остатков.

Именно поэтому в настоящее время актуальным становится вопрос об использовании новых нетрадиционных методов переработки: плазмаобработка, озонлиз, электромагнитное воздействие на реакционную смесь и использование различных возобновляемых материалов, таких как биомасса. Так же следует отметить, что на выход и состав продуктов термического превращения нефтяных остатков влияют условия проведения термолиза (температура, время контакта, давление) и добавки.

При использовании методов ультразвукового и электромагнитного воздействия на реакционную смесь углеводородов в работе [3] было показано, что при крекинге вакуумного гайзойля и нефтяного шлама, активированных волновым излучением, выход бензиновой фракции возрастает на 8-18 % мас. по сравнению с неактивированным сырьём.

Командой авторов [4] было установлено, что порошки карбида вольфрама и кобальта в процессе превращения тяжелого углеводородного сырья обладают высокой активностью. При их использовании достигается увеличение выхода светлых фракций в процессе превращения гудрона Новокуйбышевского НПЗ: на 14,7% мас. в присутствии порошков кобальта и на 16,6% мас. в присутствии порошков карбида вольфрама.

Имеются работы [5 - 8] по совместной переработке тяжелого нефтяного сырья с растительными маслами, однако на сегодняшний день нет крупнотоннажных установок для совместной переработки растительных масел и нефтяных остатков. Это указывает на несовершенство существующих технологий. На данный момент не полностью изучены закономерности термических превращений смолисто-асфальтеновых компонентов в присутствии растительных масел.

1.1.1 Классификация тяжелого нефтяного сырья

Существует большое количество различных классификаций нефти. Но оптимальная схема классификации должна основываться на максимально ограниченном числе критериев, которые позволяли бы наилучшим образом дифференцировать нефть на отдельные типы. Поэтому тяжелое нефтяное сырье делят на две большие группы: искусственное и природное (Рисунок 1). К первым относят продукты нефтепереработки, состоящие из тяжёлых остатков фракционирования нефти: мазут, гудрон, вакуумный газойль и битум. Представителями второй группы являются асфальтиты, битуминозные пески и песчаники, природный битум и тяжелая нефть.

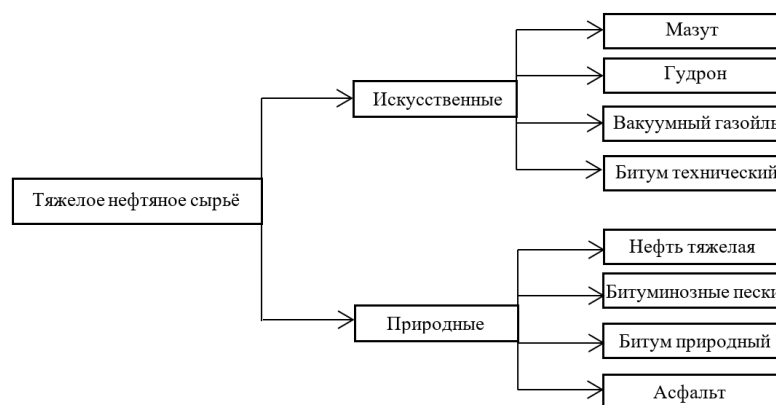


Рисунок 1— Классификация ТНС

Мазут смесь различных углеводородов с молекулярной массой от 400 до 1000 а.е.м., нефтяных смол с молекулярной массой от 500 до 3000 а.е.м. и более, асфальтенов, карбенов, карбоидов и органических соединений, содержащих различные металлы (V, Ni, Fe, Mg, Na, Ca). Физико-химические свойства мазута зависят от химического состава исходной нефти и степени отгона дистиллятных фракций.

Гудрон - вязкая жидкость или твердый асфальтоподобный продукт черного цвета с блестящим изломом. Содержит парафиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды (45-95 %), асфальтены (3-17 %), а также нефтяные смолы (2-38 %). Кроме того, в гудроне концентрируются практически все присутствующие в нефти металлы; так, содержание ванадия может достигать 0,046 %, никеля — 0,014 %. В зависимости от природы нефти и степени извлечения газойлевых фракций плотность гудрона составляет от 0,95 до 1,03 г/см³.

Вакуумный газойль - фракция, получаемая при вакуумной дистилляции нефтепродукта, преимущественно мазута, который представляет собой сложную смесь углеводородов с молекулярной массой 50—500 с., высокой температурой кипения, содержит органические соединения, серу, азот, кислород и другие элементы.

Представителями второй группы являются асфальтиты, битуминозные пески и песчаники, природный битум и тяжелая нефть. В зависимости от

содержания в тяжелой нефти смол, асфальтенов и парафинов выделяют высокоасфальтовую (более 10% асфальтенов) тяжёлую нефть и высокосмолистую (более 20% смол) + высокопарафинистую (более 10% парафинов) тяжёлую нефть.

Асфальтиты представляют собой твердый аморфный материал черного цвета, который не плавится при нагревании, а при температуре 250 °С разлагается с выделением летучих продуктов.

Битуминовые пески — это природный конгломерат из песка, воды, глины, сопутствующих минералов и битума, это горючее полезное ископаемое, органическая часть которого представляет собой природный битум. Битуминовые пески по содержанию битума делятся на богатые, или интенсивные (более 10 % по массе битума), средние (5–10 %) и тощие (до 5 %). В естественном состоянии имеет полутвердую консистенцию, насыщенный черный цвет с блеском битума.

Природный битум представляет собой очень липкий полужидкий высоковязкий нефтепродукт, богатый различными гетероатомными углеводородами, соединениями металлов, серы, азота и кислорода. Используется главным образом при выполнении кровельных работ, а также в производстве лакокрасочных материалов в качестве гидрофобного агента.

В зависимости от содержания в тяжелой нефти смол, асфальтенов и парафинов выделяют высокоасфальтовую (более 10% асфальтенов) тяжёлую нефть, высокосмолистую (более 20% смол) и высокопарафинистую (более 10 % парафинов) тяжёлую нефть.

1.1.2 Основные физико-химические характеристики тяжелого нефтяного сырья

Особенностью химического состава ТНС является высокое содержание серы, смол, асфальтенов, металлов и низкое содержание парафинов. В основном, данный тип нефти характеризуется высоким значением плотности и вязкости, что зависит от содержания смолисто-асфальтеновых веществ (САВ).

Плотность представителей природного тяжелого нефтяного сырья согласно ГОСТ Р 51858-2002 «Нефть. Общие технические условия» для тяжелой нефти равна 870,1-895,0 кг/м³ при температуре 20 °С, а для битуминозной нефти более чем 895,0 кг/м³ при температуре 20 °С. Плотность асфальтита равна 1000,0-1200,0 кг/м³, а плотность природного битума равна 0,95-1,5 кг/м³.

Что касается представителей тяжелого нефтяного сырья, полученных искусственно, то плотность мазута зависит от химического состава исходной нефти и степени разделения фракций, в среднем около 890,0-1000,0 кг/м³. В зависимости от природы нефти и степени извлечения газойлевых фракций плотность гудрона составляет от 0,95 до 1,03 г/см³.

Молекулярная масса зависит от химического и фракционного состава и является среднеарифметическим от молекулярных масс веществ, входящих в состав нефти. Для тяжёлой нефти молекулярная масса примерно 700-1200 а.е.м.

1.1.3 Асфальтены и смолы как основная составляющая тяжелого нефтяного сырья

САВ концентрируются в тяжелых нефтяных остатках. В зависимости от природы нефти и глубины извлечения дистиллятных фракций содержание смол и асфальтенов может составлять от 40 до 60 % общей массы тяжелого остатка

В виду того, что нефть нельзя назвать полноценной дисперсной системы (ДС), поскольку она имеет специфическое строение, то вводится понятие нефтяной дисперсной системы (НДС)

Свойства НДС зависят от множества параметров, например, размер и состав сложных структурных единиц (ССЕ). ССЕ называются асфальтены из ароматических полициклических монослоев, образующие трёхмерную структуру. В работе Галимовой А.В. и её соавторов [9] исследовали молекулярную структуру асфальтенов, которая показала, что плоскости ароматических колец находятся параллельно между собой, что подтверждает пространственное положение. Асфальтены, формируют крупные агломераты, состоящие из пачек 4-5 слоев, которые влияют на химико-физический

показатель—вязкость. Как известно асфальтены могут быть двух типов: «архипелаг» и «континент».

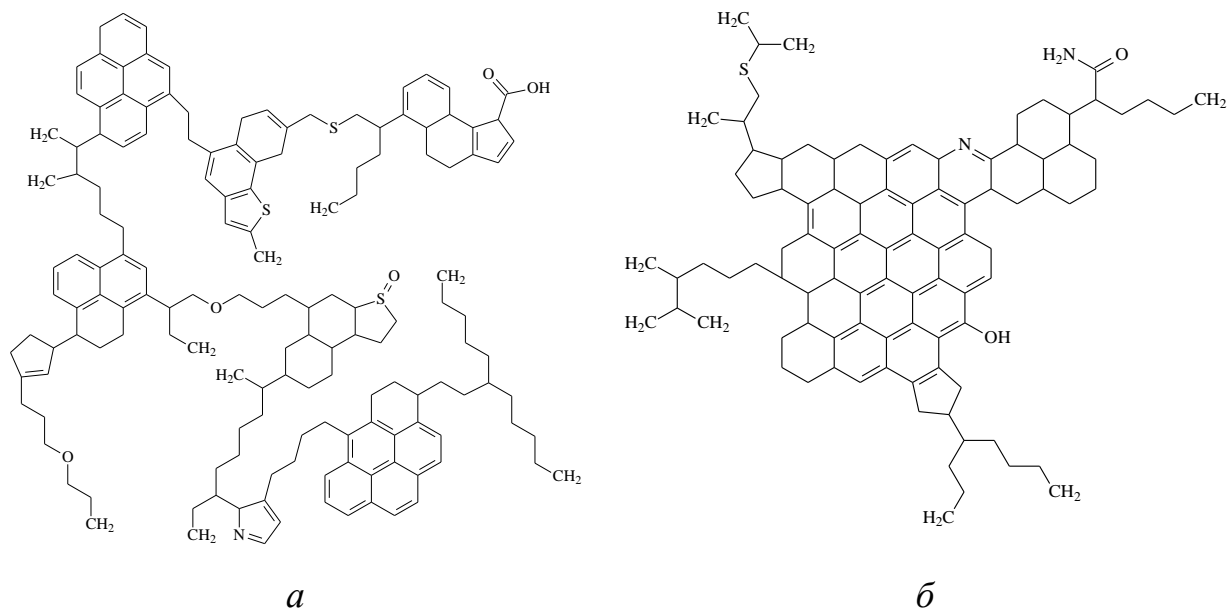


Рисунок 2 – Типы моделей асфальтенов:
а – тип «архипелаг», *б* – тип «континент»

Асфальтены типа архипелаг имеют в своей структуре большое количество пачек, состоящих из 3-4 ароматических колец, в состав которых могут входить ряд гетероатомных соединений: атомы N в пиррольных, пиридиновых и порфириновых структурах, S в форме сульфидных групп и тиофенных циклов, O в виде гидроксильных, эфирных, карбоксильных, карбонильных групп и фурановых колец. Кольца соединены между собой различными кислородными, сульфидными и метиленовыми «мостиками». По периферии ядра в качестве заместителей выступают короткие алифатические боковые цепочки. [10].

Асфальтены типа континент характеризуются ассоциированными полициклическими молекулами, состоящих из конденсированного ароматического ядра, находящегося в центре, с несколькими насыщенными кольцами, а по краям от центра находится боковые алифатические заместители.

Смолы представляют собой вязкие малоподвижные жидкости или аморфные темные тела с молекулярной массой около 300-1200 а.е.м, плотностью около 1-1,07 кг/м³, которая зависит от исходного вещества. Главной

отличительной чертой для смол является обязательное наличие гетероатомов, которые входят в циклическую ароматическую структурную единицу таких соединений, как пиридин, пиррол, фуран и тиофен. Молекулы смол в своем составе имеют два сконденсированных кольца гетероароматических соединений. В зависимости от нефти смолы могут быть жидкими и полужидкими, полученные из дистиллятов нефти, твердые, но обладающие хорошей пластичностью, выделенные из гудрона.

Смолы представляют собой полициклические кольца бензольного и нафтенного ряда. Из-за содержания серы в смолах наблюдается сильная красящая способность в нефти. Смолы делятся на спиртобензольные и бензольные смолы, которые отличаются своей структурой и полярностью. Спиртобензольные смолы являются более реакционноспособными и могут переходить не только в асфальтены, но и в бензольные смолы. Следует отметить, что бензольные смолы в отличие от спиртобензольных смол не тягучи.

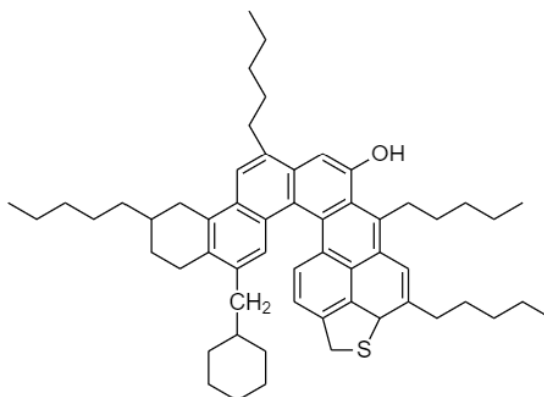


Рисунок 3 – Гипотетическая модель строения смол

1.2 Процессы переработки/облагораживания тяжелого нефтяного сырья

1.2.1 Традиционные методы переработки

Для увеличения выхода светлых фракций используют различные деструктивные процессы переработки, такие, как гидрокрекинг, каталитический и термический крекинг.

1.2.1.1 Каталитические процессы

Каталитический крекинг используют для переработки тяжелого сырья – от вакуумного газойля до остатков, с целью получения низкокипящих фракций. Катализатором служит цеолитсодержащий алюмосиликат, который промотирован металлами переходных групп. Реакции протекают при условии 450-550 °С и 0,5-1,5 Мпа. Преимущественным сырьём служит богатая парафинистая нефть, но также возможно вовлечение в переработку нафтеновое и ароматическое сырьё. Сырьё с высоким содержанием ароматических соединений образует больше кокса, которые отлагаются на поверхности катализатора и отравляют его. В реакторе одновременно происходит множество реакций: дегидрирование насыщенных углеводородов, изомеризация, циклизация линейных соединений, поликонденсация ароматических соединений. Следует отметить, что большинство этих реакций инициируются кислотными центрами катализатора, выступающими в роли доноров ионов водорода. На поверхности катализатора отлагаются металлы из гетероатомных соединений, что приводит к дезактивации катализатора. Сами же гетероатомные соединения разрушают кислотные центры катализатора.

Выход и качество продукта напрямую зависит от типа катализатора, технологического режима проведения процесса и качества сырья по фракционному составу:

- отсутствие бензино-лигроиновых фракции;
- ограниченное (до 10%) содержание фракций, выкипающих до 350°С;

- ограниченная температура конца кипения (500 - 620°C).

В связи с вышеизложенным становится практически невозможным использование ТНС с высоким содержанием смол и асфальтенов, способствующих коксообразованию на катализаторе.

Каталитический гидрокрекинг отличается тем, что для реакции необходимо подавать водород в реактор. При данных высоких термобарических условий (500-600 °С и давлением 12-15 Мпа) сырьём служит ТНС, а именно вакуумные дистилляты, а также атмосферные и вакуумные остатки. Продукты, получаемые после проведения данного процесса это высококачественные средние и легкие дистилляты, масляные дистилляты, нефтяное топливо и др. Из-за того, что в реакционную среду подается избыток водорода протекают реакции десульфуризации, деазотирования, деоксигенации и демеетализации, в результате которых получают высококачественные продукты с низким содержанием серы, азота, кислорода и металлов и низкой коксуетостью. Катализаторы для гидрокрекинга имеют два активных центров (кислотный и дегидрогидрирующий). Первой составляющей являются кислотные центры (цеолиты, алюмосиликаты и Al_2O_3). Вторая часть состоит из центров, отвечающие за гидрирование-дегидрирование (металлы – Ni, Co, Mo, W, редко Pt и Pd). Третьей составляющей является связующий компонент (кислотный компонент – оксид алюминия, алюмосиликаты; оксиды кремния, титана, циркония и др.), задача которого обеспечить механическую прочность и пористую структуру.

Без предварительной подготовки сырья каталитические процессы неэффективны и нерентабельны. Использование дорогостоящих катализаторов и их постоянная регенерация совместно с жесткими условиями протекания процесса делают данный вид переработки ТНС экономически невыгодным для нефтепереработчиков.

1.2.1.2 Термические процессы

Термический крекинг представляет собой процесс получения углеводородов с меньшей молекулярной массой, за счет разрыва длинной цепи. Сырьем для данного процесса служит мазут, гудрон и смесь тяжелых вакуумных газойлей. При температуре 500-540 °С и давлении 2-5 МПа преимущественно образуются бензиновая фракция, а также можно получить крекинг-остаток и газ. Следует отметить, что бензин получается низкого качества, который необходимо подвергнуть вторичными процессами по облагораживанию сырья. Именно поэтому данный процесс считается не перспективным и на его место встал более эффективный процесс каталитического крекинга за счет высокой селективности и применения более низких температур

Висбрекинг является неглубоким термическим крекингом, дающим газ, бензиновую фракцию, газойль и котельное масло. В качестве сырья используется смесь тяжелых вакуумных дистиллятов, остатка и даже асфальт. В процессе деструкции сырья при довольно мягких условиях (400-450 °С и давлении до 3 Мпа) образуется нефтяное топливо низкой вязкости, которое в дальнейшем используется как товарное котельное топливо или используют в качестве сырья для коксования. Бензиновая фракция имеет среднее октановое число и для добавления её в бензин необходимо сначала смешать её с бензином каталитического крекинга или с другими высокооктановыми компонентами. Не стоит забывать, что данные продукты содержат много меркаптанов и ненасыщенных углеводородов и поэтому требуют дополнительной очистки.

С помощью *пиролиза* получают из насыщенных углеводородов непредельные олефины, включая этилен и пропилен, которые в свою очередь выступают в качестве основного элемента для нефтехимического производства полимеров. Условия протекания 700-800 °С. Выход целевых продуктов зависит от углеводородного состава исходного сырья. Например, при пиролизе газойля образуется большое количество смолы пиролиза, содержащей ароматические углеводороды (нафталин, бензол, толуол, ксилол), а также олефины C₅ и выше.

Пиролизным сырьём в первую очередь являются углеводородные газы, бензиновые фракции, газоконденсаты, но в связи с дефицитом светлых фракций и их высокой стоимостью также возможно использование средних и тяжёлых дистиллятных фракций, а в редких случаях и сырой нефти.

С вовлечением тяжёлого сырья в процесс пиролиза уменьшается выход этилена и основным продуктом является смола пиролиза, используемая для производства сажи и полимерных смол или в качестве котельного топлива

1.2.1.2.1 Процессы коксования

Установка коксования служит для получения нефтяного кокса из мазута, гудрона и высококипящих дистиллятов при небольших давлениях 0,5-1,5 МПа и температуре 450-550 °С без доступа воздуха. Реакции, которые протекают в реакторе: дегидрирование, циклизация, ароматизация, поликонденсация и уплотнение с образованием сплошного «коксового пирога». В зависимости от требований, которые предъявляются к коксу существуют различные методы коксования: замедленное коксование и коксование в псевдооживленном слое.

Наиболее распространённым и эффективным считается *замедленное коксование*. Основное назначение замедленного коксования – производство нефтяного кокса, который в дальнейшем используется в металлургической промышленности для извлечения металлов из руд, электротехнической промышленности, а также в качестве топлива. Основные физико-химические показатели получаемого кокса определяются свойствами поступающего на установку остатка, который в свою очередь определяется свойствами исходной нефти. Основные термобарические условия процесса: температура 450-470 °С, давление 0,2-0,5 МПа

Второй метод *коксования* *проводят в псевдооживленном слое* коксовых частиц, создаваемом распылением сырья паром. Сырьё контактирует с воздухом, который находится во взвешенном состоянии в пространстве реактора. С помощью которого выжигается до 40 % кокса. Основными параметрами процесса являются температура 510-540 °С и давление 0,14-0,16 МПа [11].

Так же существует еще и *периодическое коксование*. Преимуществом данного процесса является атмосферное давление и небольшие температуры 360-400 °С, а также получение высококачественного кокса. Но способ неэффективный и малопроизводителен из-за чего он практически не используется в промышленности.

Гранулометрический состав кокса имеет огромное значение, поскольку определяет параметры в доменной плавки. Классификация осуществляется с помощью грохочения материала на ситах с определённым размером пор. Для каждой фракции определяются два размера: верхний и нижний размер смежных сит. Кокс, получаемый с установок замедленного коксования, подразделяют на двух ситах с размером сторон ячейки 25 и 8 мм. По размерам частиц кокса устанавливают эффективность работы установок коксования. Целевая фракция характеризуется размером частиц больше 25 мм., фракция орешек от 8 до 25 мм., всё что меньше 8 мм относится к мелочи [12].

1.2.2 Альтернативные методы переработки

Для традиционных методов переработка ТНС является очень затруднительной из-за содержания ВМС (смола и асфальтенов), металлов, гетероатомов. Еще одним отрицательным качеством ТНС является склонность к конденсации и коксообразованию, что затрудняет использование традиционных процессов переработки тяжелых остатков. Именно поэтому в настоящее время актуальным становится вопрос об использовании новых нетрадиционных методов переработки: плазмаобработка, озонлиз, электромагнитное воздействие на реакционную смесь и использование различных возобновляемых материалов, таких как биомасса [3]. Так же следует отметить, что на выход и состав продуктов термического превращения нефтяных остатков влияют условия проведения термолиза (температура, время контакта, давление) и добавки.

Для физических воздействий на нефть характерно отсутствие существенных энергозатрат на перестроение химической структуры молекулы.

К физическим методам воздействия относят ультразвуковую, сверхвысокочастотную обработку, а также воздействие электрических полей. Чаще всего *ультразвуковую обработку (УЗО)* применяют для нефти с высокой температурой застывания с целью уменьшения вязкости для доступной перекачки по трубопроводу без дополнительных экономических затрат. В работе [13] в качестве объекта исследования были выбраны высокопарафинистые и высокосмолистые нефти. На сырьё воздействовали УЗО с амплитудой колебания 5-10 мкм при резонансной частоте 24 кГц. После проведения процесса исследовали вязкость, температуру застывания и асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО). По полученным данным можно сделать вывод, что вязкость у нефти уменьшается в 2,8 раз, температура застывания на 4 °С это объясняется разрушением и перераспределением компонентов нефти между дисперсионной средой и дисперсной фазой. Так же при совместном использовании методов ультразвукового и *электромагнитного воздействия* на реакционную смесь углеводородов авторами [3] было показано, что при крекинге вакуумного гайзойля и нефтяного шлама, активированных волновым излучением, выход бензиновой фракции возрастает на 8-18 % мас. по сравнению с неактивированным сырьём.

Учитывая ряд особенностей ТНС, к катализаторам выдвигается множество требований: активность, химическая и термическая стабильность, стойкость к отравлению S, N, O и металлами. Для удовлетворения этих требований в работе [4] были выбраны альтернативные материалы такие как *порошки кобальта и карбида вольфрама*, которые обладают высокой активностью в процессе превращения тяжелого углеводородного сырья. При их использовании наблюдается увеличение выхода светлых фракций в процессе превращения гудрона Новокуйбышевского НПЗ: на 14,7% мас. в присутствии порошков кобальта и на 16,6% мас. в присутствии порошков карбида вольфрама.

Самым эффективным из альтернативных методов по очистки серы из ТНС является озонлиз с последующей экстракцией окисленных соединений, рассмотренный в статье [14]. При взаимодействии сераорганических соединений

с озоном они становятся более полярными и должны гораздо легче и эффективнее удаляться с помощью традиционных методов переработки. После проведения эксперименты массовая концентрация серы была измерена с помощью энерго-дисперсионной рентгенофлуоресцентной спектromетрии и показана наибольшая эффективность удаления серы при экстракции минимально обводнённого ацетона.

Лесин В.И. и Лесин С.В. [15] исследуют взаимодействие ТНС с *водным раствором перекиси водорода*. В ходе процесса окисления органических соединений перекисью образуются молекулы с меньшей молекулярной массой, а именно спиртов, эфиров и других кислородсодержащих соединений. Данный процесс экзотермический и выделившееся тепло используют для нагрева нефти в пласте, из-за которого вязкость нефти уменьшается, а коэффициент нефтеотдачи - увеличивается. Для продуктов взаимодействия прямогонного мазута и перекиси водорода была проведена регистрация спектров инфракрасного поглощения. Произшедшие изменения в области длин волн 400-900 см^{-1} подтвердили деструкцию асфальтенов и смол мазута. Плотность и вязкость уменьшились на 0,0161 $\text{г}/\text{см}^3$ и на 54,05 $\text{мм}^2/\text{с}$ при 80 °С соответственно.

Еще одной перспективное добавкой является магнитные *микросферы энергетических зол*, полученные из золы уноса от сжигания угля. Данные микросферы (МС) содержат оксиды железа, которые выступают в роли катализатора реакции деструкции ВМС [16]. Так же следует отметить их дешевизну, доступность и дальнейшее возможное применение остаточных продуктов с микросферами для получения дорожных битумов.

Имеются работы [5 - 8] по совместной переработке тяжелого нефтяного сырья с *растительными маслами*, однако на сегодняшний день крупнотоннажных установок для совместной переработки растительных масел и нефтяных остатков нет. Это указывает на несовершенство существующих технологий. На данный момент не полностью изучены закономерности термических превращений смолисто-асфальтеновых компонентов в присутствии растительных масел.

1.2.3 Концепция «зеленая химия» в рамках переработки ТНС

ТНС характеризуется высоким содержанием САВ, из-за чего переработка тяжелой нефти предполагает наличие в схеме переработки термодеструктивных процессов, для уменьшения молекулярной массы ВМС и как следствие больший выход ценных фракций. Большой интерес начал проявляться к добавкам растительного происхождения, так как они являются возобновляемыми, невысоко стоят и экологически безопасны для добавления их к ТНС в большом количестве с дальнейшей совместной переработкой. Начались проводиться исследования, которые устанавливали влияние растительных добавок на структурно-механические характеристики ТНС.

Десятки лет уделяется внимание таким идеям, как «зеленая химия», «зеленая экономика». Основной идеей данной концепции является обеспечение целостности и способности к самовосстановлению экосистем, рациональное использование ресурсов окружающей среды. Поскольку происходит истощение ископаемых топлив, то развитие стали получать процессы производства биотоплив [17]. В нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей отрасли так же начинают применять идеи «зеленой химии», с помощью использования нетоксичных катализаторов и создание реагентов, удовлетворяющих требованиям данной концепции.

Для улучшения реологических свойств ТНС используют различные синтетические полимерные добавки поверхностно-активные вещества (ПАВ): полиизобутиленсукцинимиды, алкилфенолы, этоксилированные нонилфенолы, алкилбензолсульфоокислоты, жирные кислоты и амины и др. По кислотно-основному механизму молекулы ПАВ взаимодействуют с полярными молекулами асфальтенов, что препятствует коагуляции за счет создания вокруг молекулы асфальтенов стерической оболочки неполярной частью ПАВ. За счет этого предотвращается образование агрегатов и снижается вязкость нефти.

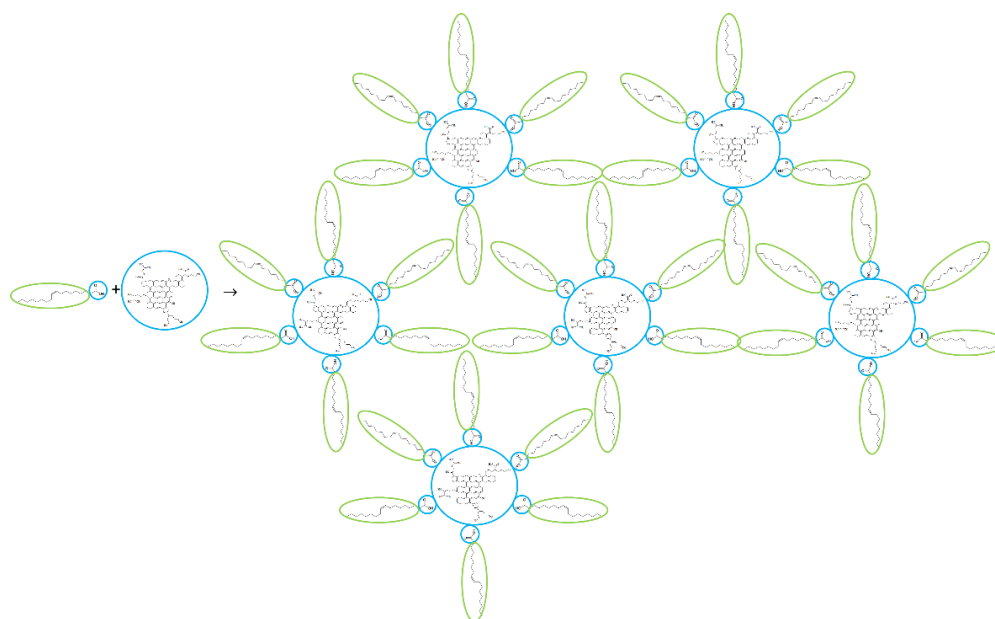


Рисунок 4 – Механизм взаимодействия ПАВ с молекулой асфальтенов

С точки зрения «зеленой химии» актуальным является создание принципиально новых ингибиторов коагуляции асфальтенов и присадок для снижения вязкости, которые соответствовали бы всем экологическим требованиям: биоразлагаемость, нетоксичность и производство которых минимально оказывала влияния на окружающую среду. Существует огромное количество работ, посвящённых исследованию в данной области, но следуют выделить – растительные масла.

Поскольку они содержат триглицериды, которые содержат кислород, то их можно рассматривать как потенциальный источник для синтеза различных присадок для снижения вязкости ТНС. В патентах [18,19] используют метиловые эфиры жирных кислот. Действие основано на хорошей смешиваемости биодизеля с нефтью за счет чего вязкость могла снизиться до 95 %. В работе [20] использовали рапсовое масло как добавку к топочному мазуту. Было установлено, что добавление всего 1 % рапсового масла приводит к снижению вязкости на 17-33 %.

В таблице 1 представлены некоторые виды добавок и их механизмы действия, которые заключаются или в разбавлении, или в диспергировании агрегатов асфальтенов, что препятствует их коагулированию [20-25].

Таблица 1 – Реагенты растительного происхождения, предложенные для ингибирования флокуляции асфальтенов и снижения вязкости нефтей и нефтяных остатков

Типы добавок	Механизмы действия	Концентрация, % мас. на нефть	Недостатки с точки зрения концепции “зеленая химия”
Растительные масла-триглицериды	Разбавление, а также в некоторой степени диспергирование асфальтеновых агрегатов, особенно при наличии свободных жирных кислот	0,5-7	Полностью соответствует принципу “зеленая химия”
Жирные кислоты, получаемые из растительных масел	Взаимодействуют с асфальтеновыми агрегатами, что приводит к диспергированию и образованию стерической оболочки, препятствующей агрегации	0,25-5	Образуется глицерин при получении жирных кислот, которому не всегда находится применение
Растительные масла, содержащие фенольные соединения	То же	0,5-3	Полностью соответствует принципу “зеленая химия”, но следует отметить дороговизну и малодоступность.
Метиловые эфиры жирных кислот (биодизель)	Разбавление-снижение вязкости дисперсной среды	До 17	Используется токсичный метанол, также образование глицерина, которому не всегда находится применение
Моноэфиры многоатомных спиртов и жирных кислот	Взаимодействуют с асфальтеновыми агрегатами, что приводит к диспергированию и образованию стерической оболочки, препятствующей агрегации	0,04	Полностью соответствует принципу “зеленая химия”, но следует отметить что при получении присадки из сорбитола образуется много отходов

Продолжение таблицы 1

Композиционные присадки	Содержат компонент-разбавитель, ПАВ, диспергирующее асфальтеновые агрегаты, и ароматический растворитель, повышающий растворяющую способность дисперсной системы	1-5	Используются токсичные ароматические растворители, а также недостатки, которые характерны для добавки моноэфира жирных кислот
-------------------------	--	-----	---

Растительные масла, которые используются, как и непосредственно в пищевой отрасли, так и отправляющиеся на дальнейшую переработку, подвергаются рафинации. Рафинация – процесс очистки масел от примесей и кислот. Благодаря рафинации улучшается товарный вид и характеристики масла (устойчивость к окислению). Данный процесс состоит из многих ступеней: фильтрация, адсорбция, обработка реагентами, дезодорация и др [26]. На каждой стадии образуется большое количество отходов. Соапсток является одним из многих видов отходов, образующийся в результате взаимодействия масла с щелочью. Цель данной обработки заключается в выделении избыточного количества свободных жирных кислот путем их омыления. По своему составу они содержат, кроме воды, мыла (до 15 мас. %), нейтральные жиры (до 17 мас. %), неомыляемые вещества и воски (до 10 мас. %). Из-за наличия ценных компонентов соапсток является возвратным компонентом. Его применяют для производства моющих средств, добавляются в комбикорма для животных, а также используются в органическом синтезе. Но многие предприятия относят соапсток к невозвратному сырью и утилизируют его. Это происходит вследствие высокой обводнённости, его эмульгированным состоянием и затруднённости извлечения солей жирных кислот и липидов. Стоит отметить, что соапсток подсолнечного масла содержит различные кислоты: стеариновая, олеиновая, линолевая и т.д.

Следовательно, с точки зрения рациональной утилизации соапстока на предприятиях, которые не используют его в дальнейших целях, целесообразно отправлять его на совместную переработку с ТНС в качестве добавки, которая будет увеличивать выход светлых фракций

1.2.3.1 Влияние масел различного сорта на процессы термического превращения ТНС

При совместной переработке ТНС и сырья растительного происхождения состав продуктов, а именно выход целевых продуктов термокрекинга, будет зависеть от условий проведения процесса. Основными параметрами такого процесса является температура и соотношение сырья. При изменении температуры изменяется скорость распада углеводородных фрагментов как тяжелых остатков нефти, так и жирных кислот. А при добавлении большего количества добавки вероятность образования связи с макрорадикалом ВМС увеличивается. То есть при варьировании таких параметров, как температура и соотношение сырья: добавка можно контролировать глубину переработки и выход светлых фракций.

Авторами работы [27] был проведен крекинг предельной стеариновой и олеиновой кислоты по результат которого было установлено, что при крекинге стеариновой кислоты выход бензиновой фракции и газовой части увеличивается по сравнению с крекингом олеиновой кислоты. Схожие результаты были получены и у [28], где крекинг проводили для непредельного соевого масла и пальмового масла, которое характеризуется высоким содержанием предельных жирных кислот.

1.2.3.2 Возможное направление реакций в присутствии масел в процессе термолиза

В статье [29] был предложен механизм крекинга растительных масел. Первой стадией является разложение с образованием высокомолекулярных кислородсодержащих соединений, преимущественно одноосновных жирных кислот. Получаемые продукты подвергаются деоксигенации с образованием СО,

CO₂, H₂O и углеводородного остатка. Данный механизм был подтвержден также и другими авторами [30], а именно сначала происходит превращение триглицеридов масел с образованием неорганических продуктов (CO, CO₂, H₂O) и углеводородных остатков, состав которых зависит от состава исходных триглицеридов. Основываясь на уже полученных результатах можно предположить, что превращениям подвергаются линейные алкильные заместители с длиной цепи 15-17 атомов углерода.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является обоснование целесообразности проведения исследования совместной конверсии масел и тяжелого нефтяного сырья, который будет отвечать требованиям ресурсоэффективности.

Данная технология является альтернативным методом переработки ТНС, так как содержащиеся в таком сырье смолы и асфальтены содержат в себе гетероатомные соединения, которые отравляют катализатор, применяемый в стандартных методах переработки. Стоит отметить, что описываемый метод переработки является единственным так как другие варианты не представляются возможными, ввиду нехватки и дорогой стоимости оборудования для исследования в целом.

В качестве иницирующей добавки используется растительное масло поскольку оно является недорогим веществом и обладает высокой реакционной способностью, в результате чего увеличивается выход дистиллятных фракций.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсоснабжения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В ходе исследования потребителей дистиллятных фракций был проанализирован целевой рынок и произведено его сегментирование.

Продукт: светлые дистиллятные фракции

Целевой рынок: промышленные предприятия нефтеперерабатывающей отрасли.

По результатам проведения сегментирования рынка были определены основные сегменты, а также выбраны наиболее благоприятные сегменты (таблица 10).

Таблица 10 – Сегментирование рынка услуг

Потребитель	Вид способов улучшения		
	Каталитические процессы	Альтернативный способ переработки ТНС	Термические процессы
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Малые НПЗ			

ТАНЕКО
 Омский НПЗ
 ООО «СиБОЙЛ»

В результате сегментирования выявили, что для крупных и средних НПЗ возможна каталитическая переработка. Для малых НПЗ этот метод является дорогостоящим, поскольку катализаторы являются дорогими. В настоящее время термические процессы по облагораживанию практически не применяются на НПЗ, поскольку они не эффективны по сравнению с термокаталитическими процессами. Таким образом наиболее рациональным является применение альтернативных доступных способов переработки для всех размеров НПЗ.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Сравним термолиз с различными растительными добавками, а именно подсолнечное масло (П), рапсовое масло (Р) и кокосовое масло (К). Такой анализ помогает вносить коррективы в исследование, чтобы быть более конкурентноспособными. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 11

Таблица 11 – Анализ конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентноспособность		
		Бп	Бр	Бк	Кп	Кр	Кк
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда пользователя	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4

Продолжение таблицы 11

2.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
4.Энергоэкономичность	0,12	5	5	3	0,56	0,56	0,42
5.Надежность	0,1	4	4	3	0,56	0,42	0,42
7.Безопасность	0,13	4	3	3	0,52	0,39	0,39
10.Простота эксплуатации	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Конкурентоспособность продукта	0,09	5	4	5	0,45	0,36	0,45
2.Уровень проникновения на рынок	0,05	2	5	2	0,1	0,25	0,1
3.Цена	0,06	4	3	3	0,36	0,18	0,18
4.Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
5.Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	2	0,3	0,18	0,12
6.Финансирование научной разработки	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
Итого	1	50	47	39	4,5	3,94	3,53

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Согласно оценочной карте для сравнения конкурентных технических решений, продукт является конкурентноспособным. К конкурентным преимуществам можно отнести: энергоэкономичность, надежность и удобство в эксплуатации. Данные качества помогут показать правильно презентовать товар и завоевать доверие покупателей путем предложения товара высокого качества со стандартным набором определяющих его параметров.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил,

тенденций и подводных камней, в условиях которых исследовательский проект будет реализовываться. Анализ проводился в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Матрица SWOT

	Сильные стороны исследовательского проекта:	Слабые стороны исследовательского проекта:
	<p>С1. Использование возобновляемого источника – подсолнечное масло)</p> <p>С2. Потенциал для повышения экологичности производства и выпускаемой продукции</p> <p>С3. Экономия расхода на покупку катализаторов</p>	<p>Сл1. Большой срок внедрения на производство</p> <p>Сл2. Отсутствие бюджетного финансирования</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Внедрение на НПЗ</p> <p>В2. Создание нового способа переработки тяжёлого нефтяного сырья</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>1. Разработка нового промышленного способа переработки тяжёлого нефтяного сырья</p> <p>2. Ускорение в сфере научно-технических инноваций, способствующих улучшению экологической ситуации и потребительских качеств продукта.</p>	<p>1. В связи с отсутствием подобных технологий возможно отставание от конкурентов.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение исследования со стороны государства</p>	<p>1. Продвижение разработанного способа переработки тяжёлого нефтяного сырья.</p> <p>2. Создание конкурентных преимуществ готового продукта.</p> <p>3. Поиск запасных источников финансирования, спонсоров в лице нефтеперерабатывающих предприятий, для которых может оказаться полезной данная разработка</p>	<p>1. Есть риск возникновения аналогичных способов переработки тяжёлого нефтяного сырья, что может создать конкуренцию разработанного способа. Возникает угроза потери рынка.</p>

Реализация второго этапа состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствия или несоответствия должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Каждый фактор отмечается либо знаком «+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям, либо знаком «-» – слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	0	+
	B2	+	+	-
	B3	-	+	0
Угрозы проекта	У1	+	0	+
	У2	+	+	+
	У3	0	-	+
Слабые стороны проекта				
Возможности проекта	B1	+	0	0
	B2	+	-	-
	B3	0	+	+
Угрозы проекта	У1	+	-	-
	У2	-	+	+
	У3	-	0	+

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. Тогда возможности описываются следующим образом: B1B2C1C2, У1У2C1C3.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе (таблица 14).

Таблица 14 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны исследовательского проекта: С1. Использование возобновляемого источника – подсолнечное масло) С2. Потенциал для повышения экологичности производства и выпускаемой продукции С3. Экономия расхода водорода на процессе гидроочистки	Слабые стороны исследовательского проекта: Сл1. Большой срок внедрения на производство Сл2. Отсутствие бюджетного финансирования
Возможности: В1. Внедрение на НПЗ В2. Создание нового способа переработки тяжёлого нефтяного сырья В3. Повышение стоимости конкурентных разработок	1. Разработка нового промышленного способа переработки тяжёлого нефтяного сырья (В1В2С1). 2. Ускорение в сфере научно-технических инноваций, способствующих улучшению экологической ситуации и потребительских качеств продукта (В2В3С2)	1. В связи с отсутствием подобных технологий возможно отставание от конкурентов (В1В2Сл1; В3Сл2Сл3).
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение исследования со стороны государства	1.Продвижение разработанного способа переработки тяжёлого нефтяного сырья. 2.Создание конкурентных преимуществ готового продукта. 3.Поиск запасных источников финансирования, спонсоров в лице нефтеперерабатывающих предприятий, для которых может оказаться полезной данная разработка (У1У2У3С3).	1. Есть риск возникновения аналогичных способов переработки тяжёлого нефтяного сырья, что может создать конкуренцию разработанного способа. Возникает угроза потери рынка (У2У3Сл3, У2Сл2Сл3)

По результатам SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, а также угрозы и возможности. Необходимо отметить, что данный анализ позволяет достаточно быстро взглянуть на положение товара в отрасли и на основе полученных результатов показать в каком направлении необходимо принять решения по ликвидации слабых сторон. Полученные результаты будут учитываться при разработке данного научно-исследовательского проекта.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Выбор направления исследования	Руководитель, бакалавр
	3	Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	Руководитель, бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретическое обоснование и проведение экспериментальных исследований	5	Поиск необходимых материалов для экспериментальных расчетов	Руководитель, бакалавр
	6	Проведение экспериментов	Бакалавр
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр
Обобщение полученных результатов, выводы по проделанной работе	8	Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель, бакалавр
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Бакалавр, консультант по ФМ
	11	Выполнение раздела «Социальная ответственность»	Бакалавр, консультант по СО
Оформление отчета по НИР	12	Составление пояснительной записки	Руководитель, бакалавр

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для написания экономической части ВКР необходимым является расчет трудоемкости работ участников научного исследования [37]. Трудоемкость выполнения исследовательской работы оценивается опытно-статистическим методом. Для расчета, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости ($t_{ожі}$) применим следующую формулу. Результаты вычислений представлены в таблице 16.

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

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

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

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

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

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

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

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

В связи с тем, что настоящее исследование сравнительно небольшое по объёму, наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения исследовательских работ в форме диаграммы Ганта.

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,47$$

Рассчитанные временные показатели проведения исследования приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Временные показатели проведения исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Руководитель	1,8	3
Выбор направления исследования	2	6	3,6	Руководитель, бакалавр	1,8	3
Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	7	25	14,2	Руководитель, бакалавр	7,1	10
Календарное планирование работ по теме	1	3	1,8	Руководитель, бакалавр	0,9	1

Продолжение таблицы 16

Поиск необходимых материалов для экспериментальных расчетов	4	15	8,4	Руководитель, бакалавр	4,2	6
Проведение экспериментов	30	90	54	Бакалавр	54	80
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	4	10	6,4	Руководитель, бакалавр	3,2	5
Оценка эффективности проведенных исследований	1	3	1,8	Руководитель, бакалавр	0,9	1
Определение целесообразности проведения ОКР	2	5	3,2	Руководитель	3,2	5
Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	1	2	1,4	Бакалавр, консультант по ФМ	0,7	1
Выполнение раздела «Социальная ответственность»	1	2	1,4	Бакалавр, консультант по СО	0,7	1
Составление пояснительной записки	10	20	14	Руководитель, бакалавр	7	10

Занятость руководителя согласно таблице 16 равна 44 в рабочих днях, а для бакалавра 118 в рабочих днях. На основе таблицы 16 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках исследовательского проекта на основе таблицы 16 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различными цветами в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 17 – Календарный план-график проведения исследования

Вид работ	Исполнители	T _{кл} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ			
			февраль	март	апрель	май
Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3				

Продолжение таблицы 17

Выбор направления исследования	Руководитель, бакалавр	3					
Обзор современных методов и патентных исследований по выбранному направлению	Руководитель, бакалавр	10					
Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр	1					
Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель, бакалавр	6					
Проведение экспериментов	Бакалавр	80					
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр	5					
Оценка эффективности проведенных исследований	Руководитель, бакалавр	1					
Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель	5					
Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Бакалавр, консультант по ФМ	1					
Выполнение раздела «Социальная ответственность»	Бакалавр, консультант по СО	1					
Составление пояснительной записки	Руководитель, бакалавр	10					

– Руководитель; – Бакалавр; – Консультант по ФМ; – Консультант по СО

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета проекта должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета научно-технического исследования используется следующая группировка затрат по статьям:

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

4.2.4.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{рски},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении исследования;

$N_{рски}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки в занесены в таблицу 18, в которой исполнение 1 – проведение термолиза мазута без добавки, исполнение 2 – термолиз мазута с растительным маслом. Величину коэффициента (k_T) принимают в пределах от 15-25%. Выбираем 20 % от стоимости материалов.

Таблица 18 – Расчет затрат на сырье

Наименование затрат	Единица измерений	Расход		Цена за единицу, руб		Сумма, руб	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Мазут	кг	0,5	0,5	700,0	700,0	350,0	350,0
Подсолнечное масло	л	-	0,5	-	80	-	40
Спирт этиловый	л	1,0	1,0	490,0	490,0	490,0	490,0
Гексан	л	3,0	3,0	1 200,0	1 200,0	3 600,0	3 600,0
Бензол	л	1,5	1,5	920	920	1 380,0	1 380,0
Силикагель	кг	1,00	1,00	1500	1500	1 500,0	1 500,0
Итого						7 320,0	7 360,0

4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты на приобретение специального оборудования, которое необходимо для проведения научной работы.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации сводятся в таблицах 19 и 20.

Таблица 19 – Расчет затрат на специальное оборудование

Наименование оборудования	Количество	Цена единицы оборудования, руб		Общая стоимость оборудования, руб	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Терморегулятор ТРМ 500	1	5 500	5 500	5 500	5 500
Реактор стальной (автоклав)	1	20 000	20 000	20 000	20 000
Термопара	1	7 000	7 000	7 000	7 000
Итого				32 500	32 500

Таблица 20 – Расчет затрат на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	Затраты на оборудование, руб		Срок службы оборудования, лет	Норма амортизации	Затраты на амортизацию, руб.	
	Исп. 1	Исп. 2			Исп. 1	Исп. 2
Терморегулятор ТРМ 500	5 500	5 500	7	0,14	770	770
Реактор стальной	20 000	20 000	15	0,06	1 200	1 200
Термопара	7 000	7 000	6	0,16	1 120	1 120
Итого за год					3 090	3 090
Итого за период использования					3 090	3 090

Таким образом, затраты на оборудование в двух исполнениях составили 32 500 руб, на амортизацию 3 090 руб.

4.2.4.3 Основная заработанная плата исполнителей темы

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_p,$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника, руб;

$Т_p$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 16)

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата одного работника, руб;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дп} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение рабочего времени (при отпуске в 48 раб.дня $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

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

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365

Продолжение таблицы 21

Количество нерабочих дней: - выходные дни; - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени: - отпуск; - невыходы по болезни	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	191	219

Месячный должностной оклад работника:

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

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

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$);

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

Таблица 22 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{тс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	35 120,0	0,3	0,2	1,3	68 484,0	3 728,0	44	164 074,8
Студент	12 130,0	0,3	0,2	1,3	23 653,5	1 123,3	118	132 546,0
Консультант по разделу «Финансовый менеджмент»	35 120,0	0,3	0,2	1,3	68 484,0	4 015,8	1	4 015,8
Консультант по разделу «Социальная ответственность»	27 770,0	0,3	0,2	1,3	54 151,5	3 175,3	1	3 175,3

4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

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

Таблица 23 – Расчёт заработной платы

Исполнитель	$Z_{\text{осн}}$, руб	$Z_{\text{доп}}$, руб	$Z_{\text{зп}}$, руб
Руководитель	164 074,7	19 688,9	183 763,6
Студент	132 546,1	15 905,5	148 451,6
Консультант по разделу «Финансовый менеджмент»	4 015,8	481,8	4 497,6
Консультант по разделу «Социальная ответственность»	3 175,3	381,1	3 556,4

4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной 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.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

Таблица 24 – Расчёт заработной платы

Исполнитель	$Z_{\text{зп}}$, руб	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	Отчисления, руб
Руководитель	183 763,6	30	55 129,1
Студент	148 451,6		44 535,5
Консультант по разделу «Финансовый менеджмент»	4 497,6		1 349,3
Консультант по разделу «Социальная ответственность»	3 556,4		1 066,9
Итого			102 080,8

4.2.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, его величина принимается в размере 16 %.

4.2.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат 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 25 – Расчёт бюджета проекта

Наименование статьи	Сумма, руб	
	Исп. 1	Исп. 2
Материальные затраты научно-исследовательских работ	7 320,0	7 360,0
Затраты на специальное оборудование для исследовательских работ	32 500	32 500
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	303 811,9	303 811,9
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	36 457,4	36 457,4
Отчисления во внебюджетные фонды	102 080	102 080
Накладные расходы	77 147,09	77 153,48
Бюджет затрат научно-исследовательских работ	559 316,4	559 362,8

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности исследования. Его нахождение связано с

определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Для настоящей разработки (исп. 1): $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{559,316,4}{559\,362,8} = 0,99$;

для аналогичного испытания (исп. 2): $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{559\,362,8}{559\,362,8} = 1$.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

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.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения (Исп. 1 и Исп. 2) проекта представлена в таблице 26.

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5
Помехоустойчивость	0,15	4	4
Энергосбережение	0,20	3	4
Надежность	0,25	4	4
Материалоемкость	0,25	5	5
Итого	1		

$$I_{P-исп1} = 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 = 4,25$$

$$I_{P-исп2} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 = 4,90$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{исп2}$) и аналога ($I_{исп1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{P-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4,25}{0,99} = 4,29;$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{P-исп2}}{I_{финр}} = \frac{4,90}{1} = 4,90;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}} = \frac{4,90}{4,29} = 1,14,$$

где $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{исп1}$ – интегральный показатель разработки;

$I_{исп2}$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 27 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	4,90
Интегральный показатель эффективности	4,29	4,90
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,14

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило понять, что наиболее эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является текущий проект с применением подсолнечного масла.

Список публикаций студента

№	Наименование работы, её вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
Публикации в ведущих рецензируемых научных Российских и зарубежных журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК:1					
1	Исследование совместной конверсии масел и тяжелого нефтяного сырья	Печатная	Нефтепереработка и нефтехимия, 2020, № 12, С. 28 – 30	3	Бояр С.В Кривцова К.Б. Копытов М.А.
Доклады и тезисы докладов, опубликованные в материалах российской Международной (Всероссийской) конференции:					
1	Исследование влияния азотсодержащих соединений на переработку углеводородного сырья	Печатная	Труды XXIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина, Томск, 2019, Т. 2 - С. 337-339	3	Стреляев А.Д Шатова (Федорова) Е.Н. Кривцова К.Б
2	Исследование влияния азотсодержащих соединений на переработку углеводородного сырья	Печатная	Материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых, Томск, 2019, С. 374-375	2	Шатова (Федорова) Е.Н. Кривцова К.Б
3	Исследование влияния азотсодержащих соединений на переработку углеводородного сырья	Печатная	Тезисы докладов XXII Всероссийская конференция молодых учёных-химиков (с международным участием),	2	Стреляев А.Д Шатова (Федорова) Е.Н. Кривцова К.Б

			Нижний Новгород, 2019, С. 125		
4	Исследование совместной конверсии тяжелого нефтяного сырья и растительных масел	Печатная	Материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых , Томск, 2020, С. 378-379	2	Кривцова К.Б.
5	Исследование совместной конверсии масел и тяжелого нефтяного сырья	Печатная	Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Томск, 2020, Т. 2, С. 284-285	2	Кривцова К.Б.
6	Термолиз нефтяного остатка Усинской нефти в присутствии растительного масла	Печатная	Материалы XI Международная конференция, посвящённая 50-летию Института химии нефти СО РАН, Томск, 2020, С. 59	1	Бояр С.В. Копытов М.А.
7	Совместная конверсия нефтяного остатка с подсолнечным маслом	Печатная	Материалы XI Международная конференция, посвящённая 50-летию Института химии нефти СО РАН, Томск, 2020, С. 128	1	Бояр С.В. Кривцова К.Б
8	Исследование влияния порфиринов на устойчивость нефтяной дисперсной системы	Печатная	Материалы XI Международная конференция, посвящённая 50-летию Института химии нефти СО РАН, Томск, 2020, С. 93	1	Федорова Е.Н. Кривцова К.Б

9	Исследование высокомолекулярных азотсодержащих соединений тяжелой нефти	Печатная	Тезисы докладов XXIII Всероссийская конференция молодых учёных-химиков (с международным участием), Нижний Новгород, 2020, С. 132	2	Шатова (Федорова) Е.Н. Кривцова К.Б
10	Термическая конверсия нефтяного остатка с растительным маслом	Печатная	Сборник научных трудов XVII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 2020, Т. 2, С. 107-109.	3	Кривцова К.Б
11	Сравнительный анализ продуктов термоллиза мазута Усинской нефти	Печатная	Тезисы докладов XIX Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» - Санкт-Петербург, 2021 г. С. 117	3	Кривцова К.Б
12	Исследование совместной конверсии тяжелого нефтяного сырья и нерафинированного подсолнечного масла	Печатная	Сборник трудов V Международная молодежная научная конференция «Tatarstan UpExPro 2021» - Казань, 2021.	2	Кривцова К.Б
13	Исследование процесса термоллиза тяжелого остатка в присутствии растительного масла	Печатная	Конкурс нефти и газа, Москва, 2021.	2	Кривцова К.Б
14	Исследование направления превращений компонентов тяжелого нефтяного сырья в условиях совместной конверсии с растительными маслами	Печатная	Труды XVIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития	3	Кривцова К.Б

			фундаментальных наук», Томск, 2021.		
15	Исследование совместной конверсии тяжелых нефтяных остатков совместно с растительными маслами	Печатная	Тюмень	3	Кривцова К.Б
16	Исследование направления превращения смолисто-асфальтеновых компонентов мазута при совместной конверсии с растительными маслами	Печатная	Труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, Томск, 2021.	2	Бояр С.В. Кривцова К.Б