

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

Институт электронного обучения
Направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»
Кафедра химической технологии топлива и химической кибернетики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив с использованием метода математического моделирования

УДК 621.436 – 6: 665.637.7: 519.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д11	Донцу Валентина Валерьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТТ и ХК	Белинская Наталия Сергеевна			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Сечина Ася Александровна	к.х.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Чулков Николай Александрович	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), CDIO (п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2), CDIO (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), CDIO (1.2, 2.1, 4.5)
P4	Разрабатывать новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) (ОК-9, ОК-10, ОК-13, ПК-4, 7, 10, 12 -17, 26) CDIO (п.1.3, 4.4, 4.7)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), CDIO (п. 2.2)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, выводить на рынок новые материалы , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) CDIO(п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)
Общекультурные компетенции		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), CDIO (п. 2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), CDIO (п. 2.4)
P9	Активно владеть иностраным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п.2.2), CDIO (п. 3.2, 3.3)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) CDIO(п. 4.7, 4.8, 3.1)

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д11	Донцу Валентина Валерьевна

Институт	ИнЭО	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Химическая технология топлива

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Провести конкурентный анализ исследования процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив с использованием метода математического моделирования. Составить SWOT-анализ используемого комплекса методик.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет затрат на оборудование, сырье и материалы для проведения научного исследования. Расчет заработной платы исполнителей НИ. Расчет общих затрат на НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегральных финансовых показателей, интегральных показателей эффективности разработки. Сравнительная эффективность НИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения НИ
4. Расчет заработной платы исполнителей НИ
5. Расчет бюджета затрат НИ
6. Сравнительная эффективность НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.04.16
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Сечина Ася Александровна	к.х.н., доцент		14.04.16

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д11	Донцу Валентина Валерьевна		14.04.16

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д11	Донцу Валентина Валерьевна

Институт	ИнЭО	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Химическая технология топлива

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Объект исследования – установка каталитической депарафинизации дизельных топлив. Область применения – нефтеперерабатывающие производства.

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:

- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

2. Экологическая безопасность:

- 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.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– 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.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.04.16
---	-----------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Чулков Н.А.	к.т.н., доцент		14.04.16

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д11	Донцу Валентина Валерьевна		14.04.16

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

Институт электронного образования
Направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»
Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Юрьев Е.М.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
<i>3-2Д11</i>	<i>Донцу Валентина Валерьевне</i>

Тема работы:

Исследование процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив с использованием метода математического моделирования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1768/с от 03.03.2016 года

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Установка каталитической гидродепарафинизации дизельного топлива Л-24-10/2000 ООО «КИНЕФ». Исследовать влияние расхода орошения и расходов дополнительных испаряющих потоков на работу колонны стабилизации и затем задать для нее оптимальные условия эксплуатации. Применить метод моделирования в среде HYSYS.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор литературы 1.1 Назначение процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив 1.2. Описание технологического процесса и технологической схемы производственного объекта 1.2.1 Технология процесса 1.2.2 Технологические условия 1.3. Сероводородная коррозия оборудования нефтеперерабатывающих производств 1.3.1 Коррозионных отказы на установках гидроочистки нефтяного сырья 1.3.2 Коррозионные отказы на установках гидрокрекинга

	1.3.2 Коррозионные отказы на установках гидрокрекинга 1.3.3 Коррозия под действием влажного сероводорода 1.3.4 Высокотемпературная сероводородная коррозия 1.3.5 Защита оборудования гидрогенизационных процессов 1.4 Обзор систем моделирования, применяемых в нефтегазовой отрасли 1.4.1 Aspen HYSYS 1.4.2 Pro/II 1.4.3 CHEMCAD 1.5 Постановка цели и задач исследования 2 Объект и методы исследования 2.1 Характеристика колонны стабилизации 2.1.1 Сырье и продукты 2.2 Методика моделирования колонны стабилизации в среде HYSYS 3 Экспериментальная часть 3.1 Разработка модели колонны стабилизации в среде HYSYS 3.2 Исследование влияния расхода орошения в колонну стабилизации 3.3 Исследование влияния расхода стабильного бензина в куб колонны стабилизации 3.4 Исследование влияния расхода водородсодержащего газа в куб колонны стабилизации 3.5 Результаты проведенного исследования 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 4.2 Планирование и формирование бюджета научных исследований 4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 5 Социальная ответственность 5.1 Производственная безопасность 5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 5.2 Экологическая безопасность 5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 5.4 Правовые и организационные вопросы
--	--

	обеспечения безопасности
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сечина Ася Александровна, к.х.н., доцент
Социальная ответственность	Чулков Николай Александрович, к.т.н., доцент
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: все разделы предоставляются на русском языке.	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.11.15

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТТ и ХК	Белинская Н.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д11	Донцу В.В.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 88 страниц, 8 рисунков, 19 таблиц, 27 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: гидродепарафинизация, дизельное топливо, температура застывания, температура помутнения, предельная температура фильтруемости, математическое моделирование.

Объектом исследования является установка каталитической гидродепарафинизации дизельного топлива Л-24-10/2000 ООО «КИНЕФ».

Цель работы – исследование процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив с использованием метода математического моделирования для совершенствовании работы колонны стабилизации продукта процесса.

В процессе исследования проводились оценка влияния расхода орошения и расходов дополнительных испаряющих потоков на работу колонны стабилизации.

В результате исследования определены оптимальные условия эксплуатации колонны стабилизации

Область применения: нефтеперерабатывающие предприятия, где реализован процесс каталитической гидродепарафинизации дизельного топлива.

Экономическая значимость работы заключается в возможности оптимизации процесса путем подбора оптимального технологического режима, без вмешательства в работу установки.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

температура застывания: Температура, при которой топливо полностью теряет подвижность (ниже температуры помутнения на 5–10 °С).

температура помутнения: Максимальная температура, при которой в топливе появляется фазовая неоднородность.

предельная температура фильтруемости: Наиболее высокая температура, при которой данный объем топлива не проходит через стандартный фильтр в установленное время при стандартизованных условиях охлаждения.

Сокращения, обозначения

Данная работа содержит следующие обозначения и сокращения:

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

ВСТ – водородсодержащий газ

МДЭА – метилдиэтанолламин

ГПЗ – газоперерабатывающий завод

ВТСК – высокотемпературная сероводородная коррозия

АВТ – установка атмосферной и вакуумной перегонки нефти

ГПС – газопродуктовая смесь

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 305 – 2013 Топливо дизельное. Технические условия.
2. ГОСТ Р 52368 – 2005 (EN 590:2009) Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.
3. ГОСТ Р 55475 – 2013 Топливо дизельное зимнее и арктическое депарафинированное. Технические условия.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	13
1. Литературный обзор.....	15
1.1 Назначение процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив	15
1.2. Описание технологического процесса и технологической схемы производственного объекта	22
1.2.1 Технология процесса	24
1.2.2 Технологические условия	25
1.3. Сероводородная коррозия оборудования нефтеперерабатывающих производств	28
1.3.1 Коррозионных отказы на установках гидроочистки нефтяного сырья	29
1.3.2 Коррозионные отказы на установках гидрокрекинга	30
1.3.3 Коррозия под действием влажного сероводорода	32
1.3.4 Высокотемпературная сероводородная коррозия	32
1.3.5 Защита оборудования гидрогенизационных процессов	32
1.4 Обзор систем моделирования, применяемых в нефтегазовой отрасли	34
1.4.1 Aspen HYSYS.....	35
1.4.2 Pro/II	36
1.4.3 CHEMCAD.....	37
1.5 Постановка цели и задач исследования	38
2 Объект и методы исследования	40
2.1 Характеристика колонны стабилизации	40
2.1.1 Сырье и продукты.....	41
2.2 Методика моделирования колонны стабилизации в среде HYSYS	42
3 Экспериментальная часть	44
3.1 Разработка модели колонны стабилизации в среде HYSYS.....	44
3.2 Исследование влияния расхода орошения в колонну стабилизации	45
3.3 Исследование влияния расхода стабильного бензина в куб колонны	

стабилизации	47
3.4 Исследование влияния расхода водородсодержащего газа в куб колонны стабилизации	48
3.5 Результаты проведенного исследования	50
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	54
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	55
4.2 Планирование и формирование бюджета научных исследований	59
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	67
5 Социальная ответственность	70
5.1 Производственная безопасность	72
5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	73
5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	75
5.2 Экологическая безопасность	77
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	78
Заключение.....	80
Список использованных источников	81
Приложение А	85
Приложение Б.....	87

Введение

В своем стремлении к развитию, нефтеперерабатывающая промышленность поставила перед собой следующие задачи:

- увеличить глубину переработки нефти;
- ужесточить экологические требования к качеству топлив;
- обеспечить растущий спрос на моторные топлива высшего качества;
- вовлечь в переработку «тяжелые» виды нефти, содержащие большое количество высококипящих фракций и остатков серы, металлов и смол.

Повышение требований к качеству моторных топлив (особенно по содержанию серы, полициклических ароматических углеводородов), приводят к необходимости улучшения технологических процессов [1]. Вместе с тем, суровый климат Российской Федерации, рождает высокий спрос на высококачественные низкозастывающие дизельные топлива, который на сегодняшний день не обеспечивается даже наполовину

Главными низкотемпературными характеристиками дизельного топлива являются: температура застывания, температура помутнения и предельная температура фильтруемости.

В настоящее время в России потребность в зимнем и арктическом дизельных топливах составляет 40 % от общего объема производства. При этом в России недостаточно мощностей каталитической депарафинизации [1]. Кроме того, в соответствии с прогнозами Министерства энергетики РФ потребление дизельного топлива будет постоянно увеличиваться: примерно на 2 % в год от суммарного выпуска.

В последние годы всё большее применение на НПЗ России находит процесс гидродепарафинизации смеси атмосферного газойля с бензином висбрекинга.

Для оптимизации сложных многокомпонентных процессов эффективно применяются математические модели, которые позволяют с высокой точностью описывать процесс и проводить необходимое количество исследований без

вмешательства в работу промышленной установки и значительных затрат на проведение эксперимента [3].

Целью работы является исследование процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив с использованием метода математического моделирования для совершенствовании работы колонны стабилизации продукта процесса.

Объект исследования – установка Л-24-10/2000 направлена на увеличение объема производства экологически чистого летнего и зимнего дизельного топлива со сверхнизким содержанием серы и полиароматических углеводородов, соответствующего требованиям Европейских стандартов к дизельным топливам [1].

Предмет исследования – закономерности процесса в колонне стабилизации.

Личный вклад заключается в расчетах влияния расхода орошения, рециркулирующего стабильного с блока ректификации, водородсодержащего газа; выявлении закономерностей влияния данных технологических параметров на эффективность отделения сероводорода в колонне стабилизации; определении оптимальной схемы потоков в колонне стабилизации.

Результаты имеют практическую значимость для совершенствования работы промышленной установки депарафинизации как рекомендации по расходам орошения и стабильного бензина в колонну в зависимости от содержания сероводорода во входном потоке в колонну стабилизации, а также как рекомендации по модернизации колонну путем введения дополнительного испаряющего потока – водородсодержащего газа.

1 Литературный обзор

1.1 Назначение процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив

Установка гидродепарафинизации позволяет вовлекать в производство дизельных топлив атмосферный газойль за счет облегчения его углеводородного состава и депарафинизации, а также позволяет облагораживать бензин висбрекинга, что дает возможность получать дополнительный объем сырья для установок каталитического риформинга и изомеризации [1].

Суть процесса заключается в гидрировании сернистых, азот- и кислородсодержащих соединений, полиароматических углеводородов и гидродепарафинизации углеводородов C_{10+} с целью улучшения низкотемпературных свойств продуктов [3].

Схема основных потоков установки гидродепарафинизации смеси атмосферного газойля и бензина висбрекинга Л-24-10/2000 ООО «КИНЕФ» представлена на рисунке 1 [2].

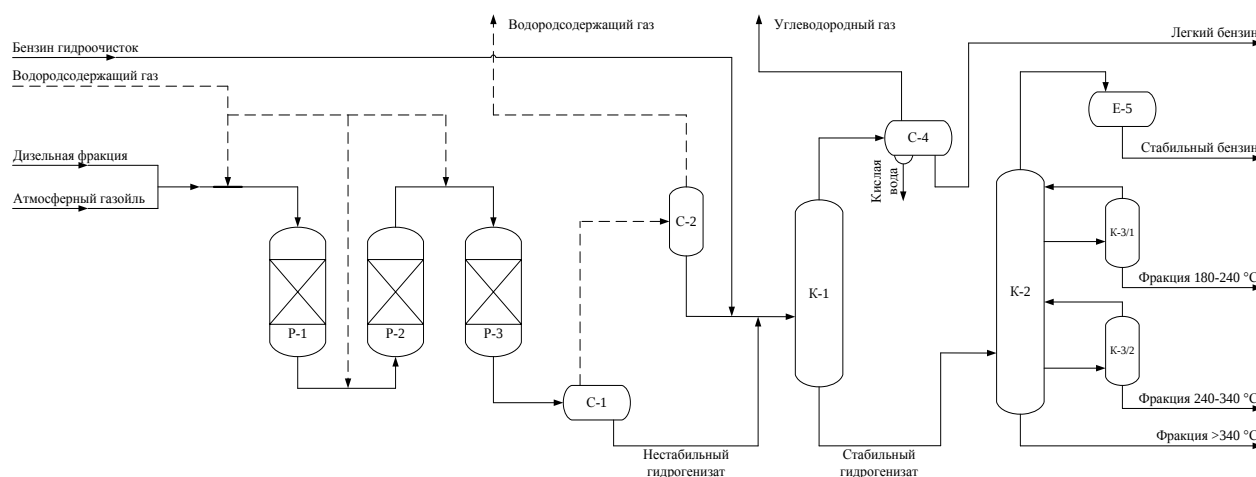


Рисунок 1 – Схема основных потоков установки Л-24-10/2000 ООО «КИНЕФ»

P-1 и P-2 – реакторы гидроочистки, P-3 – реактор гидродепарафинизации,

C-1 — сепаратор высокого давления; C-2 — сепаратор низкого давления;

K-1 — стабилизационная колонна; K-2 — ректификационная колонна;

K-3/1, 3/2 — отпарные колонны (стрипинги); C-4, E-5 — рефлюксные ёмкости.

В качестве катализатора гидроочистки применяется NiO – MoO₃. В процессе депарафинизации используется CoO – MoO₃ катализатор. Для осуществления реакций процесса депарафинизации в реакторы поступает водородсодержащий газ (ВСГ). Также для регулирования температуры процесса между реакторами подается охлаждающий квенч ВСГ [1].

Глубокого обессеривания и депарафинизации сырья позволяет достичь повышенное давление (9,0 МПа) и применения современных катализаторов фирм Axens и Sud-Chemie, которые представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика катализаторов

Наименование катализаторов	Номер государственного или отраслевого стандарта, технических условий, стандарта предприятия	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу	Область применения готовой продукции
1. Катализатор АСТ 077	Импорт, фирма Axens	1. Внешний вид: - форма - внешний диаметр, мм 2. Физические свойства: - длина, мм - насыпная плотность после усадки, кг/л - прочность гранулы на раздавливание, дека Н/мм, не менее	рифленные кольца 10-12 12-18 0,45-0,55 1	Используется для гидроочистки углеводородного сырья
2. Катализатор HR 945	Импорт, фирма Axens	1. Внешний вид: - форма - диаметр, мм 2. Физические свойства: - потери при прокаливании при 550 °С, вес. %, не более - насыпная плотность после усадки, кг/л - удельная поверхность, м ² /г - общий объем пор, см ³ /г - устойчивость к истиранию, вес. %, не менее - объемная прочность на раздавливание, МПа, не менее 3. Химический состав: - никель (NiO), вес. %, не менее - молибден (MoO ₃), вес. %, не менее	шары серо-зеленого цвета 2-4 2,5 0,80-0,92 120-160 0,36-0,50 94 1,55 11,0 7,5	Используется для гидроочистки углеводородного сырья

Продолжение таблицы 1

3. Катализатор HR 538 2.5 (HR 538 1.6)	Импорт, фирма Axens	1. Внешний вид: - форма - внешний диаметр, мм 2. Физические свойства: - потери при прокаливании при 550 °С, вес. %, не более - насыпная плотность после усадки, кг/л - удельная поверхность, м ² /г, не менее - общий объем пор, см ³ /г, не менее - прочность гранулы на раздавливание, дека Н/мм, не менее - объемная прочность на раздавливание, МПа, не менее 3. Химический состав: - никель (NiO), вес. %, не менее - молибден (MoO ₃), вес. %, не менее	трилистники светло-зеленого цвета 2,4-2,6 (1,5-1,7) 2 0,69-0,79 165 0,45 1,0 1,0 2,5 16	Используется для гидроочистки углеводородного сырья
4. Катализатор HYDEX-G	Импорт, фирма Sud-Chemie	1. Физические свойства: - форма - размер, мм - насыпная плотность, г/л - средняя прочность на раздавливание, кПа/мм, не более 2. Химический состав, массовая доля, %: - потери при прокаливании (1000 °С), % масс., не более - никель (Ni), % масс.	цилиндрическая 2,5 650 ±30 7,5 5 1,8-2,3	Используется для гидродепарафи- низации углеводородного сырья

В результате процесса получают дизельные фракции, бензин и углеводородный газ.

Дизельные фракции 180-240°C и 240-340°C используются в качестве компонентов летнего и зимнего дизельного топлива, остаток – фракция, выкипающая при температуре более 340°C, может направляться на приготовление котельного топлива.

Углеводородный газ, после очистки от сероводорода, используется как топливо для печей установки, избыток углеводородного газа сбрасывается в топливную сеть.

Углеводородный состав бензиновой фракции установки гидродепарафинизации значительно отличается от состава прямогонных бензинов, ранее используемых на установке риформинга, повышенным содержанием олефинов (до 5 процентов) и изоалканов (до 40 процентов), что приводит к необходимости корректировки технологических режимов.

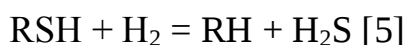
Процессы гидроочистки и гидродепарафинизации основываются на реакциях гидрогенизации с удалением из нефтепродуктов гетероатомных, непредельных соединений и полициклических аренов, а также на легком крекинге парафиновых углеводородов в среде водорода на катализаторах.

Удаление гетероатомов происходит в результате разрыва связей C – S, C – N, C – O. При этом сера, азот и кислород выделяются в виде сероводорода, аммиака и воды соответственно. Арены присоединяют водород по двойной связи. Частично гидрируются полициклические арены.

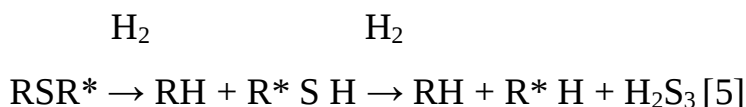
Относительная скорость и глубина реакций зависят от условий процесса, физико-химических свойств перерабатываемого сырья и применяемых катализаторов [4].

Реакции сернистых соединений:

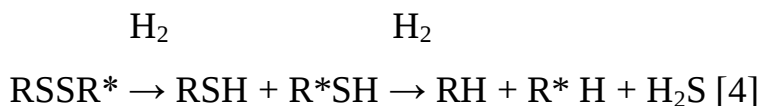
1. Меркаптаны превращаются в углеводород и сероводород:



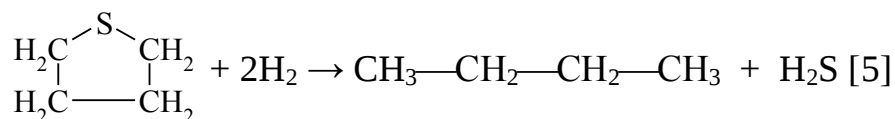
2. Гидрирование сульфидов происходит через стадию образования меркаптанов:



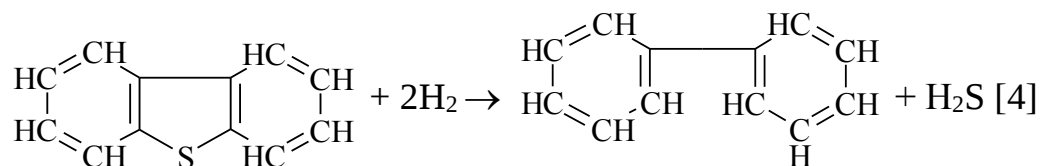
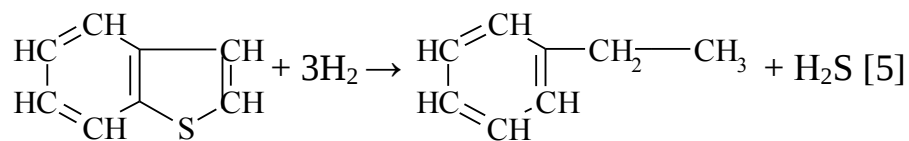
3. Дисульфиды гидрируются до сероводорода и соответствующих углеводородов также через стадию образования меркаптанов:



4. В циклических сульфидах, например, в тиофене, вначале разрывается кольцо, затем происходит отщепление сероводорода с образованием соответствующего углеводорода:



5. Тиофен, бензо- и дибензотиофен сначала гидрируются до производных тетрагидротиофена, которые затем превращаются в алканы и алкилпроизводные аренов:



Легче всего из всех сернистых соединений гидрируются меркаптаны, сульфиды, труднее всего - тиофены. При одних и тех же условиях степень гидрирования меркаптанов и сульфидов составляет 95 %, а тиофенов - 40÷50 %. Скорость гидрообессеривания снижается с увеличением молекулярного веса нефтяных фракций. Сернистые соединения, содержащиеся в легких прямогонных фракциях - бензиновых и керосиновых, гидрируются значительно легче, чем в газойлевых фракциях, характеризующихся более высоким молекулярным весом и содержанием сернистых соединений, по своему составу близких к тиофену.

Реакции азотсодержащих соединений:

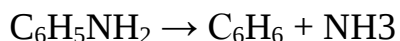
Азот в нефтепродуктах находится в основном в виде гетероциклических соединений - производных пиррола и пиридина.

Гидрирование связи C – N протекает труднее, чем связи C – S, поэтому в процессах гидроочистки азот удалить сложнее, чем серу [4].

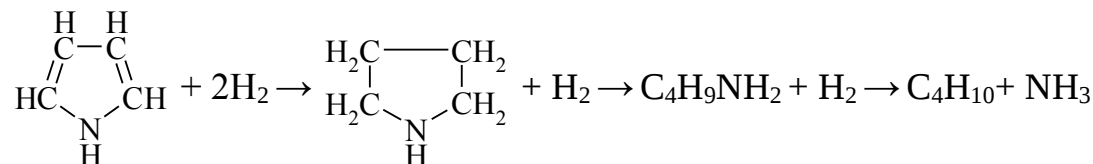
Легче всего гидрируются амины:



Анилин, содержащий аминогруппу, связанную с ароматическим кольцом, гидрируется значительно труднее:

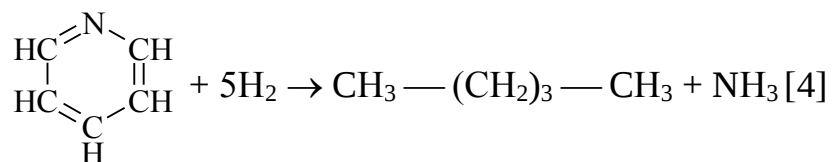


Сложнее всего удаляется азот из циклических структур. Пиррол гидрируется до бутана и аммиака:



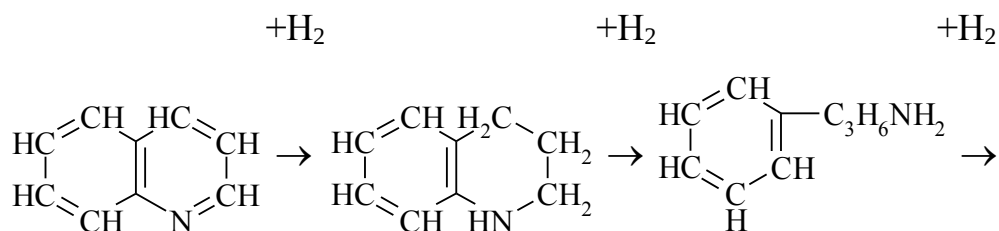
Пиррол

Пиридин превращается в пентан и аммиак по схеме:

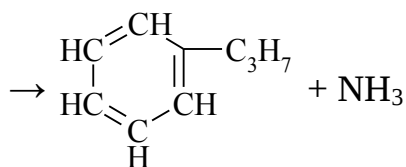


Так как сопряженная электронная система в молекуле пиридина значительно более устойчива, чем в молекуле пиррола, пиридин гидрируется труднее, чем пиррол.

Гидрирование бициклических и полициклических аренов начинается с кольца, содержащего гетероатом:



Хинолин



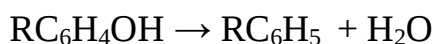
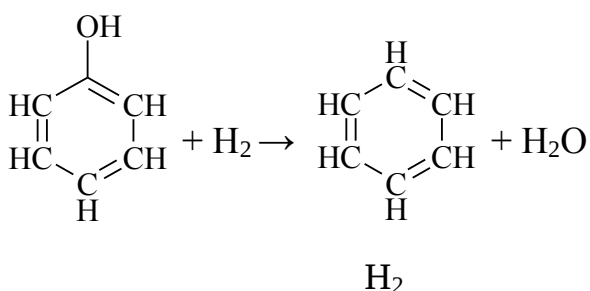
В присутствии обычных катализаторов гидроочистки достигается практически полное гидрирование азотосодержащих соединений.

Реакции кислородсодержащих и металлоорганических соединений:

Кислород в дизельных и газойлевых фракциях может быть представлен соединениями типа спиртов, эфиров, фенолов и нафтеновых кислот [4]. Наибольшее количество кислородсодержащих соединений концентрируется в смолах и асфальтенах.

При гидрировании кислородсодержащих соединений образуются соответствующие углеводороды и вода:

бензол



В присутствии обычных катализаторов гидроочистки кислородсодержащие соединения удаляются практически полностью.

Металлоорганические соединения, присутствующие в нефтяных фракциях, разлагаются на активных катализаторах с выделением свободного металла, являющегося каталитическим ядом [5]. Гидроочистка позволяет удалять большую часть металлоорганических соединений (75 ÷ 95 %).

Реакции углеводородов:

В процессе гидроочистки и особенно депарафинизации одновременно с реакциями сернистых, азотных и кислородных соединений протекают многочисленные реакции углеводородов:

- изомеризация парафиновых и нафтеновых углеводородов;
- насыщение непредельных углеводородов;
- гидрокрекинг;

- гидрирование ароматических углеводородов и других.

Изомеризация парафиновых и нафтеновых углеводородов происходит при любых условиях гидрирования, интенсивность гидрокрекинга усиливается с повышением температуры и давления [4].

Из сопутствующих гидрированию реакций особый интерес представляет насыщение олефиновых и ароматических углеводородов [5].

Согласно исследованиям, наиболее стойкими в процессе гидрирования являются ароматические углеводороды. Моноциклические (бензол и его гомологи) в заметном количестве гидрируются при высоком парциальном давлении водорода (20,0 МПа и выше).

Гидрирование ароматических углеводородов с конденсированными кольцами протекает в условиях гидроочистки частично с образованием моно и бициклических ароматических углеводородов.

При температуре 350÷420 °С происходит практически полное гидрирование непредельных соединений при сравнительно низком парциальном давлении водорода [4].

1.2 Описание технологического процесса и технологической схемы производственного объекта

На рисунке 2 ниже показана упрощенная типовая схема процесса каталитической депарафинизации. Свежее сырье подогревается и смешивается с горячим циркулирующим газом. Смесь поступает в первый реактор, где органические соединения азота и серы преобразуются с образованием аммиака и сероводорода. Реакции происходят с относительно небольшим выделением тепла. Затем предварительно обработанный поток охлаждается циркулирующим газом от компрессора и поступает во второй реактор, содержащий катализатор депарафинизации. При прохождении сырья через катализатор депарафинизации длинноцепочные n-парафины расщепляются на более мелкие молекулы, что повышает показатели текучести сырья при низких температурах. Реакции

экзотермичны, требуется постоянный контроль температуры в реакторе. Температура поддерживается на минимально возможном уровне, необходимом для получения требуемой степени расщепления молекул.

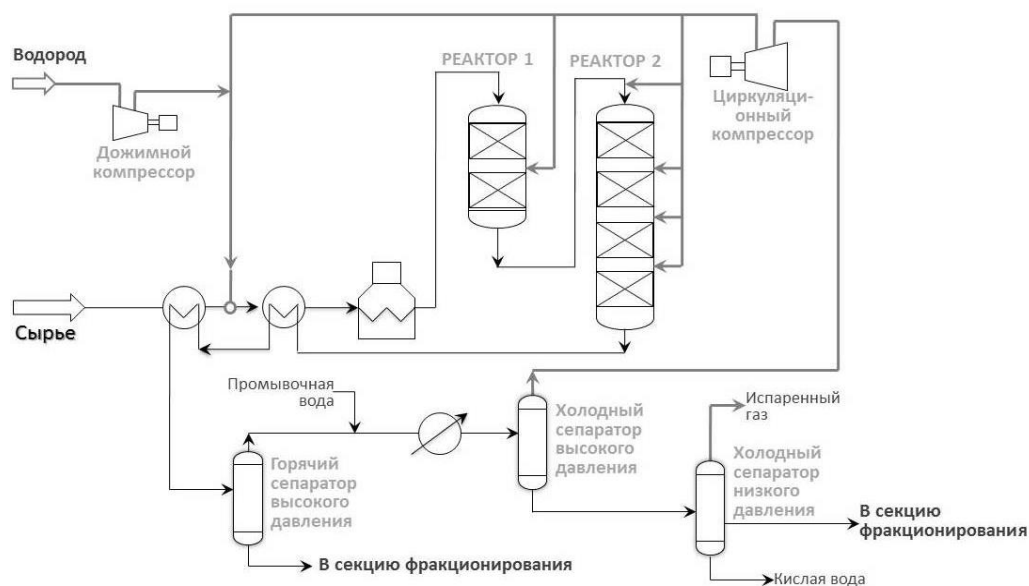


Рисунок 2 – Упрощенная типовая схема процесса каталитической депарафинизации

Температура в реакторах регулируется путем подачи холодного циркулирующего водородсодержащего газа (ВСГ) между слоями катализатора. Продукт из второго реактора охлаждается в сырьевых теплообменниках и поступает в горячий сепаратор высокого давления, где происходит отделение жидких углеводородов от паров ВСГ. Жидкий продукт направляется в секцию фракционирования, а ВСГ после доохлаждения поступает в холодный сепаратор высокого давления. Для предотвращения коррозии и отложения солей аммония, перед поступлением продукта на охлаждение, подается промывочная вода. Пар из холодного сепаратора высокого давления смешивается с подпиточным водородом и направляется на смешение с сырьем. Жидкие углеводороды поступают в сепаратор низкого давления.

Кислый газ из сепаратора низкого давления выводится с установки, а жидкий продукт после отделения кислой воды направляется в секцию фракционирования.

1.2.1 Технология процесса

В состав установки Л-24-10/2000 входят 5 блоков:

- Реакторный блок – предназначен для гидроочистки и гидродепарафинизации сырья и получения гидрогенизата с низким содержанием остаточной серы. В состав блока входит узел очистки циркуляционного водородсодержащего газа от сероводорода;
- Блок стабилизации - предназначен для стабилизации гидрогенизата и удаления из него сероводорода и растворенных газов;
- Блок ректификации – предназначен для разделения стабильного гидрогенизата на бензиновую, дизельные фракции и остаток, выкипающий при температуре более 340 °С;
- Блок очистки углеводородного газа и регенерации метилдиэтаноламина (МДЭА) – предназначен для очистки углеводородного газа от сероводорода раствором МДЭА и десорбции сероводорода из насыщенного раствора МДЭА;
- Блок подготовки топлива – предназначен для удаления конденсата из топливного газа и подогрева топливного газа перед сжиганием в печах установки.

Промпарк установки Л-24-10/2000 выделен в отдельный блок и предназначен для приема и хранения сырья - прямогонной дизельной фракции и атмосферного газойля.

Также в состав установки Л-24-10/2000 входят вспомогательные узлы:

- узел приготовления реагентов – для приготовления свежего раствора МДЭА;
- узел подачи щелочи – для подачи 2÷5 %-го раствора щелочи в режиме регенерации;
- узел подачи аммиачной воды – для подачи раствора аммиачной воды в режиме регенерации;
- узел подачи диметилдисульфида – для подачи диметилдисульфида в режиме сульфидирования;

- узел аварийной, факельных и дренажной емкостей – для сбора аварийных, факельных и дренажных сбросов с установки;
- узел подачи охлаждающей жидкости к насосам – для подачи денормализата на охлаждение центробежных насосов;
- узел регенерации катализаторов – для проведения пассивации/регенерации катализаторов гидроочистки и депарафинизации компрессором ПК-3.

Проектом предусмотрена возможность проведения регенерации катализаторов гидроочистки компрессором ПК-3 на установках ЛЧ-24/9-2000 и ЛГ-24/7.

1.2.2 Технологические условия

Условия ведения процесса зависят от фракционного и химического состава сырья, требуемой степени обессеривания и депарафинизации и активности применяемого катализатора.

Основными параметрами, характеризующими процессы гидроочистки и депарафинизации, являются: температура, давление, объемная скорость подачи сырья, кратность циркуляции водородсодержащего газа по отношению к сырью и активность катализатора.

Температура:

Подбор оптимальных температур зависит от качества исходного сырья, требований к качеству получаемой продукции, типа катализатора, степени его активности, рабочих условий эксплуатируемого оборудования и лежит в пределах 300÷400 °С для процесса гидроочистки и 300÷405 °С для процесса гидродепарафинизации.

При повышении температуры степень гидрирования сернистых соединений возрастает, достигая максимума при 380 °С для процесса гидроочистки. При дальнейшем повышении температуры степень гидрирования снижается: для сернистых соединений незначительно, для непредельных

углеводородов довольно резко, так как при повышенной температуре происходит реакция гидрокрекинга, в результате которых снижается выход жидких продуктов, повышается выход легких углеводородов и увеличивается отложение кокса на катализаторе [4].

Реакция гидроочистки экзотермична, поэтому для снятия избыточного тепла между реакторами предусмотрена подача холодного водородсодержащего газа в качестве квенча.

Реакции гидродепарафинизации наоборот протекают с небольшим поглощением тепла.

Давление:

Для того, чтобы увеличить степень обессеривания сырья, уменьшить коксообразование катализатора и увеличить срок его службы, необходимо повышать общее давление в системе.

При изучении факторов, влияющих на глубину гидроочистки, определено, что гидрированию способствует не повышение общего давления в системе, а рост парциального давления водорода.

При повышении парциального давления водорода скорость процесса увеличивается, однако заметное возрастание скорости реакции при этом происходит только до определенного предела [5].

Для обеспечения заданной глубины обессеривания - до 5 ppm, парциальное давление водорода на выходе из реактора Р-2 должно быть не ниже 5,2 МПа, при давлении на входе в реактор Р-1 максимально возможным, но не более 9,0 МПа [5].

Объемная скорость подачи сырья:

Объемной скоростью называется отношение объема сырья, подаваемого в реактор, к объему катализатора.

С увеличением объемной скорости уменьшается время пребывания сырья в реакторе.

С уменьшением объемной скорости увеличивается время контакта сырья с катализатором и углубляется степень очистки, но уменьшается количество

пропускаемого через реактор сырья, т.е. уменьшается производительность установки.

Для каждого вида сырья определяется допустимая скорость, при которой возможно достижение заданного качества продукции. Для данного процесса рекомендуемая скорость составляет:

- в слое основного катализатора гидроочистки - $0,6-1,0 \text{ ч}^{-1}$;
- в слое катализатора гидродепарафинизации - $1,5-2,5 \text{ ч}^{-1}$ [4].

Кратность циркуляции водородсодержащего газа:

Кратность циркуляции водородсодержащего газа выражается объемом циркулирующего водородсодержащего газа в кубометрах (м^3 *) приходящихся на 1 м^3 подаваемого сырья [4].

Для процесса гидроочистки и депарафинизации рекомендуется кратность циркуляции 100 %-ного водорода не менее $150 \text{ м}^3*/\text{м}^3$ сырья.

* - расход газа, приведенный к стандартным условиям ($t=20^\circ\text{C}$, $P=101,325 \text{ кПа}$). Термодинамические расчеты показывают, что уже в присутствии теоретически необходимого количества водорода реакции гидрирования могут протекать до практически полного завершения.

Снизить коксообразование на катализаторе позволяет увеличение объема циркулирующего водородсодержащего газа.

Активность катализатора:

Чем выше активность катализатора, тем с более высокой объемной скоростью можно проводить процесс и достигать большей глубины обессеривания [4].

С течением времени активность катализатора падает за счет отложения серы и кокса на его поверхности.

При падении активности катализатора ниже допустимой проводят процесс регенерации, заключающийся в выжигании отложившихся кокса и серы.

Постепенно, за счет рекристаллизации и изменения структуры поверхности, а также за счет адсорбции на поверхности катализатора

металлоорганических и других веществ, блокирующих активные центры, катализатор «старее».

В случае снижения каталитической активности безвозвратно, катализатор заменяется на свежий [5].

1.3. Сероводородная коррозия оборудования нефтеперерабатывающих производств

Не смотря на очевидную сущность процессов коррозии, общепринятой формулировки термина «коррозия» до сих пор нет. Зачастую под этим термином понимают изменение свойств металла или изготовленной из него конструкции, в результате его самопроизвольно протекающего химического взаимодействия со средой.

Универсальной в коррозионном отношении отраслью, является химическая переработка газа и нефти. Огромное разнообразие условий эксплуатации позволяет реализовать в ней подавляющую часть известных видов коррозии, зачастую таких, которые не встречаются в других отраслях промышленности. К примеру, коррозию, вызываемую нафтеновыми кислотами или высокотемпературную сероводородную коррозию. Как показывает статистика, коррозия оборудования является причиной каждого второго отказа оборудования на перерабатывающих предприятиях. В связи с чем, на борьбу с ней во всем мире в год затрачивается 3,7 миллиардов долларов.

Расход металлов на изготовление оборудования для заводов по переработке газа и нефти (ГПЗ и НПЗ) значительно больше, чем расход на химических предприятиях с сопоставимыми по агрессивности средами. Поэтому проблема защиты оборудования на ГПЗ и НПЗ всегда актуальна.

С проблемой предотвращения коррозионного разрушения оборудования тесно связаны его конструкционные особенности, а также сама технология переработки газа и нефти.

1.3.1 Коррозионные отказы на установках гидроочистки нефтяного сырья

В настоящее время, ни одно предприятие, занимающееся переработкой газа (газоконденсата) и нефти, не обходится без установки для гидроочистки сырья. С одной стороны, значимость этих установок увеличивается из-за повышения объемов перерабатываемого высокосернистого и сернистого сырья, а с другой - ужесточения требований качества товарных нефтепродуктов, включая содержание серы. Сутью процесса является деструктивная гидрогенизация азот-, галоген-, кислород- и серосодержащих компонентов углеводородных дистиллятов на катализаторе с дальнейшим удалением их продуктов превращения. Удаление этих продуктов необходимо в связи с тем, что они являются для катализаторов активными ядами и кроме того, приводят к значительному повышению коррозионной агрессивности рабочей среды установки. Вместе с тем, за счет гидроочистки сырья установок каталитического крекинга нового поколения повышается выход бензиновых фракций, не редко становится возможным исключение доочистки товарных автобензинов от сернистых соединений, предотвращается выброс в атмосферу сернистых газов. Благодаря гидроочистке повышается качество дизельного топлива. Тогда как, гидроочистка сернистого газоконденсата приводит не только к повышению качества, но и к существенному понижению коррозионной агрессивности его продуктов переработки [6].

Подавляющее большинство отказов на установках гидроочистки связано с появлением в рабочей среде аппаратов продуктов превращения серо-, азот-, кислород- и галогенсодержащих соединений: сероводорода, хлороводорода, воды и аммиака, а также продуктов взаимодействия этих соединений между собой и с материалом оборудования: хлорида, сульфида и гидросульфида аммония, полиотионовых кислот, хлорида и сульфида железа. Для высокотемпературного оборудования основную опасность представляет водород, особенно в присутствии сероводорода [6].

1.3.2 Коррозионные отказы на установках гидрокрекинга

Основная задача установок гидрокрекинга повысить глубину переработки нефти. Во время гидрокрекинга одновременно происходит расщепление и гидрирование высокомолекулярных углеводородов. В качестве сырья используются тяжелые остатки и вакуумные дистилляты. Для осуществления процесса, необходимо присутствие катализатора, давление водородсодержащего газа должно быть 20 МПа, а температура 390-500°C. Катализатор предназначен для обеспечения глубокого гидрирования и высокой скорости расщепления углеводородов. Процесс на установках осуществляется в одну ступень или в две ступени с предварительной гидроочисткой. На текущий момент особое внимание уделяют эксплуатации установок «легкого» гидрокрекинга, сырьем которого является вакуумный дистиллят (пределы выкипания 350-520°C), а целевым продуктом – дизельное топливо. Процесс проводится при давлении до 5,5 МПа и температуре 400°C. Принципиальные технологические схемы установок гидрокрекинга и гидроочистки схожие между собой [6].

На современных установках «легкого» гидрокрекинга коррозионные отказы сводятся к минимуму благодаря использованию в схеме блока гидроочистки, существенно снижающей опасность поражения под воздействием сероводорода, отложений сульфида аммония, цианидов, одновременного воздействия на металл водорода и сероводорода. Правильно выбранное материальное исполнение и невысокая температура эксплуатации практически исключают водородную коррозию реакторного и печного оборудования.

На старых установках, работающих без предварительной гидроочистки, коррозионные проблемы в основном связаны с появлением в среде сероводорода, хлороводорода, цианидов и отложений, в состав которых входят сульфид и гидросульфид аммония и сульфид железа. Безусловную опасность представляют сернистая и полиотионовые кислоты, которые появляются в средах установки при остановках оборудования. Высокотемпературное оборудование

страдает от воздействия водорода, содержащего сероводород. Характер отказов аналогичен имеющим место на установках гидроочистки и риформинга с той лишь разницей, что пока на отечественных заводах не встречались случаи отказов оборудования установок гидрокрекинга, связанных с катастрофической скоростью коррозии под воздействием искусственно введенных хлорорганических соединений [6].

Наибольшее количество отказов в конце 90-х годов прошлого столетия приходилось на аппараты и трубопроводы линии газопродуктовой смеси: сепараторы, теплообменное оборудование, трубопроводы. От коррозии страдали также аппараты и трубопроводы линии головного погона стабилизационной колонны. Причину отказов связывают с появлением в среде соляной кислоты, которая в присутствии продукта превращения серосодержащих соединений, сероводорода, становится особенно агрессивной. Сама соляная кислота появляется в результате растворения в конденсирующейся влаге хлороводорода, продукта гидрогенизационной деструкции хлорорганических соединений. Концентрация хлороводорода в ВСГ может достигать 300 - 1000 мг/м³.

Несмотря на широкий комплекс антикоррозионных мероприятий для защиты оборудования установок гидроочистки, коррозия продолжает оставаться наиболее серьезной эксплуатационной проблемой этих установок [6].

1.3.3 Коррозия под действием влажного сероводорода

В средах оборудования нефтегазового комплекса, сероводород является самым специфическим, что отличает его от сред химической и других отраслей производств. На нефтеперерабатывающих заводах данный вид коррозии характерен для установок первичной переработки сернистой нефти, каталитического риформинга, гидрокрекинга и газофракционирования сернистых нефтей. В то время как, на газоперерабатывающих предприятиях разрушению подвергаются установки для подготовки газа к переработке, сероочистки и производства серы [6].

1.3.4 Высокотемпературная сероводородная коррозия

Высокотемпературная сероводородная коррозия (ВТСК) основана на окислении стали сероводородом без использования электролита на поверхности. Для корродирования необходима температура свыше 260°C и парциальное давление сероводорода больше 0,006 кПа. ВТСК оказывает разрушительное воздействие на высокотемпературное оборудование установок АВТ, гидроочистки и каталитического крекинга [6].

1.3.5 Защита оборудования гидрогенизационных процессов

Для предупреждения катастрофической ситуации, возникающей на рассматриваемых установках при переработке нефтяных дистиллятов с искусственно введенными хлорорганическими соединениями, используют разные приемы.

Ингибиторная защита является основным методом предупреждения и подавления развития коррозионных процессов под действием кислых компонентов газопродуктовой смеси, образующихся из природных элементоорганических соединений на установках гидроочистки.

Борьба с коррозией под действием продуктов гидролиза отложений солей ведется путем промывки оборудования водой. При использовании этого метода защиты следует учитывать, что если на поверхности металла после проведения промывки остаются влажные отложения, проблема коррозии может быть только усугублена. Попадание в оборудование кислорода и хлоридов с промывной водой также способствует интенсификации коррозионного процесса и должно быть сведено к минимуму [6].

Для снижения вероятности сероводородного коррозионного растрескивания и блистеринга сепараторов их по возможности изготавливают из сталей, стойких к этим видам разрушения (20ЮЧ).

Весьма важным технологическим способом предупреждения МКК оборудования из аустенитных хромоникелевых сталей (печные змеевики, реакторы) под действием серной, сернистой и полиотионовых кислот является продувка оборудования установок в период пуска и остановки инертным газом.

Предупреждение развития высокотемпературных видов коррозии (водородной, сероводородной, сероводородно-водородной и высокотемпературного окисления) осуществляют путем рационального выбора конструкционных материалов.

При эксплуатации установок гидроочистки и изомеризации, реакторы которых работают при низких температурах, допускается использовать аппараты из биметалла 12ХМ + 08Х18Н10Т.

В настоящее время трубы как радиантной, так и конвекционной секции змеевика рекомендуется изготавливать из более стойкой к сероводородно-водородной коррозии стали 08Х18Н ЮТ.

Колонное оборудование, работающее при температуре выше 260°C, с целью предупреждения ВТСК изготавливают из биметалла Сталь углеродистая + 08Х13, тарелки — из стали 08Х13. Для колонн установок, работающих на низкосернистом сырье, допускается использовать углеродистые стали. У таких аппаратов увеличивают толщину стенки по сравнению с требованиями прочностного расчета, обеспечивая «прибавку на коррозию» [6].

Теплообменники для нагрева сырья и охлаждения газопродуктовой смеси в наиболее жестких условиях работают на установках гидроочистки. И среда межтрубного пространства (газосырьевая смесь), и, особенно, среда трубного пространства (газопродуктовая смесь) содержат большое количество коррозионно-агрессивных компонентов: H, S, HCl, NH₄Cl и др. В обеих средах присутствует водородсодержащий газ. Поэтому трубные пучки этих теплообменников рекомендуется изготавливать из стали 08X18H ЮТ, наиболее стойкой к воздействию водорода при высокой температуре даже в присутствии сероводорода. Распределительную камеру аппаратов рекомендуется выполнять из биметалла 12ХМ+08Х18Н ЮТ, а корпус, работающий при более низкой температуре, чем трубный пучок и распределительная камера, и поэтому в меньшей степени рискующий пострадать от воздействия водорода с сероводородом, изготавливают из стали 12ХМ [6].

1.4 Обзор систем моделирования, применяемых в нефтегазовой отрасли

В настоящее время инженерам-технологам доступно большое число программных средств моделирования химико-технологических процессов нефтегазовой отрасли. Эти средства в основном разработаны фирмами США и Канады, хотя существуют и российские разработки (GIBBS, КОМФОРТ и др.).

Все-таки лидирующие позиции на рынке программных продуктов моделирования в нефтегазовой отрасли в настоящее время занимают продукты трех иностранных компаний – Invensys Process Systems (в состав которой входит SimSci – Esscor владелец торговой марки PRO II), Aspen Technologies (с вошедшей в ее состав компанией Huprotech владельца торговых марок HYSIM, HYSYS, Aspen) и ChemStations (владеющая торговой маркой CHEMCAD).

1.4.1 Aspen HYSYS

Aspen HYSYS представляет собой программный пакет, предназначенный для моделирования в стационарном режиме (рисунок 3), проектирования химико-технологических производств, контроля производительности оборудования, оптимизации и бизнес-планирования в области добычи и переработки углеводородов и нефтехимии [7].

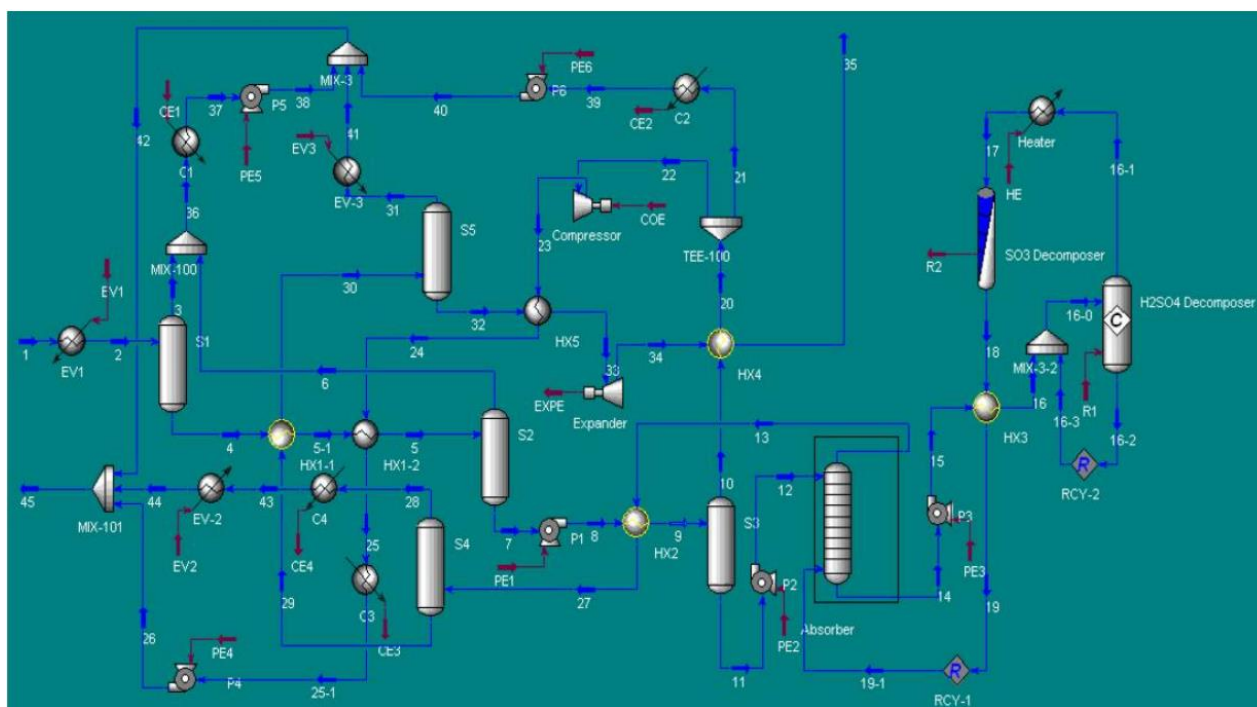


Рисунок 3 - Модель в Aspen Hysys

Программа получила широкое распространение в проектных и инженеринговых фирмах, в ПКО заводов, в научно-исследовательских институтах и на заводских установках. На сегодняшний день инженеры и технологи используют HYSYS как средство построения стационарных моделей при проектировании технологических процессов, для мониторинга состояния оборудования и выявления неисправностей, для оптимизации технологических режимов, бизнес – планирования и управления активами [7].

1.4.2 Pro/II

Это программный продукт, позволяющий инженерам-технологам воспользоваться всеми преимуществами электронно-вычислительных средств, предназначенных для выполнения точных расчетов массового и энергетического баланса с целью моделирования широкого диапазона установившихся процессов химического обогащения, переработки нефти (рисунок 4), природного газа и твердых остатков.

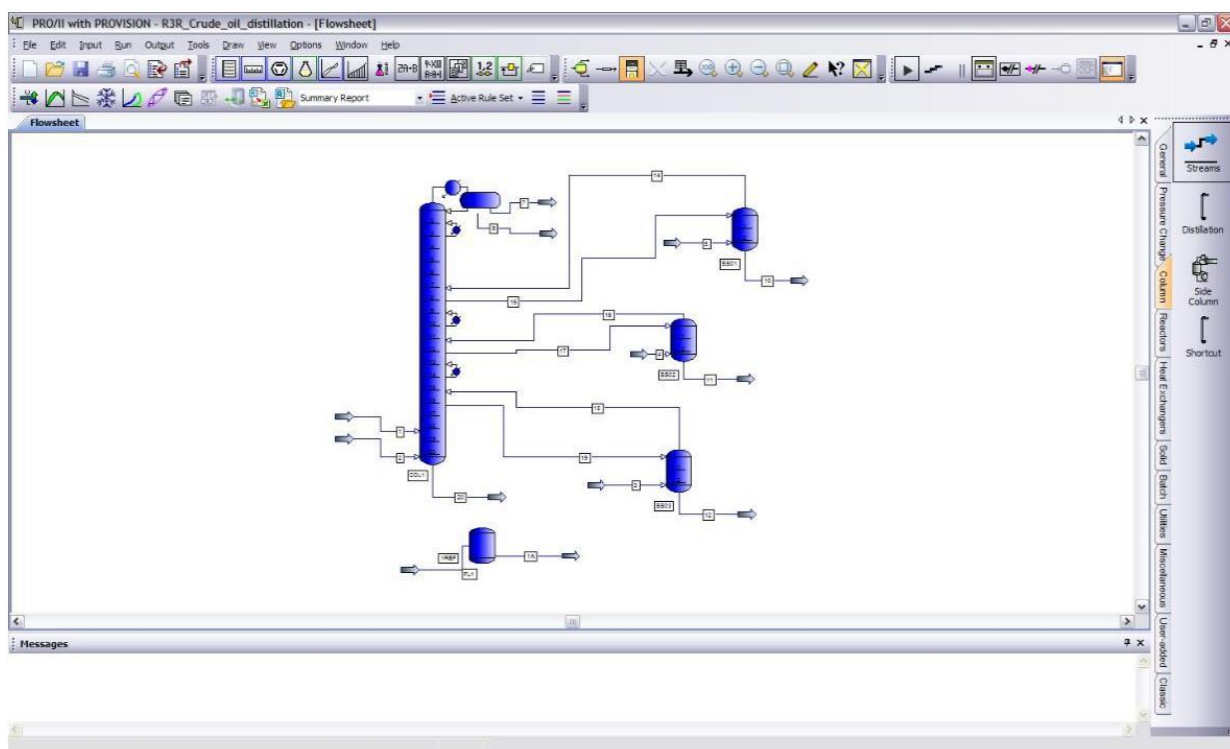


Рисунок 4 - Перегонка сырой нефти в ректификационной колонне

Данный пакет позволяет сэкономить капитальные затраты и повысить производительность установок за счет возможности оценивания конструкции установки на фазе проектирования, модернизации существующих установок и оптимизации выхода готового продукта.

PRO/II выполняет строгие расчеты материальных и тепловых балансов для широкого диапазона технологических процессов: от первичной сепарации нефти и газа до реакционно-ректификационных процессов. Простая в

использовании, программа PRO/II позволяет эффективно решать задачи моделирования.

1.4.3 CHEMCAD

Пакет моделирующих программ ChemCAD (рисунок 4) представляет собой инструмент для компьютерного моделирования химико-технологических процессов при разработке, модернизации и оптимизации химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств [7].

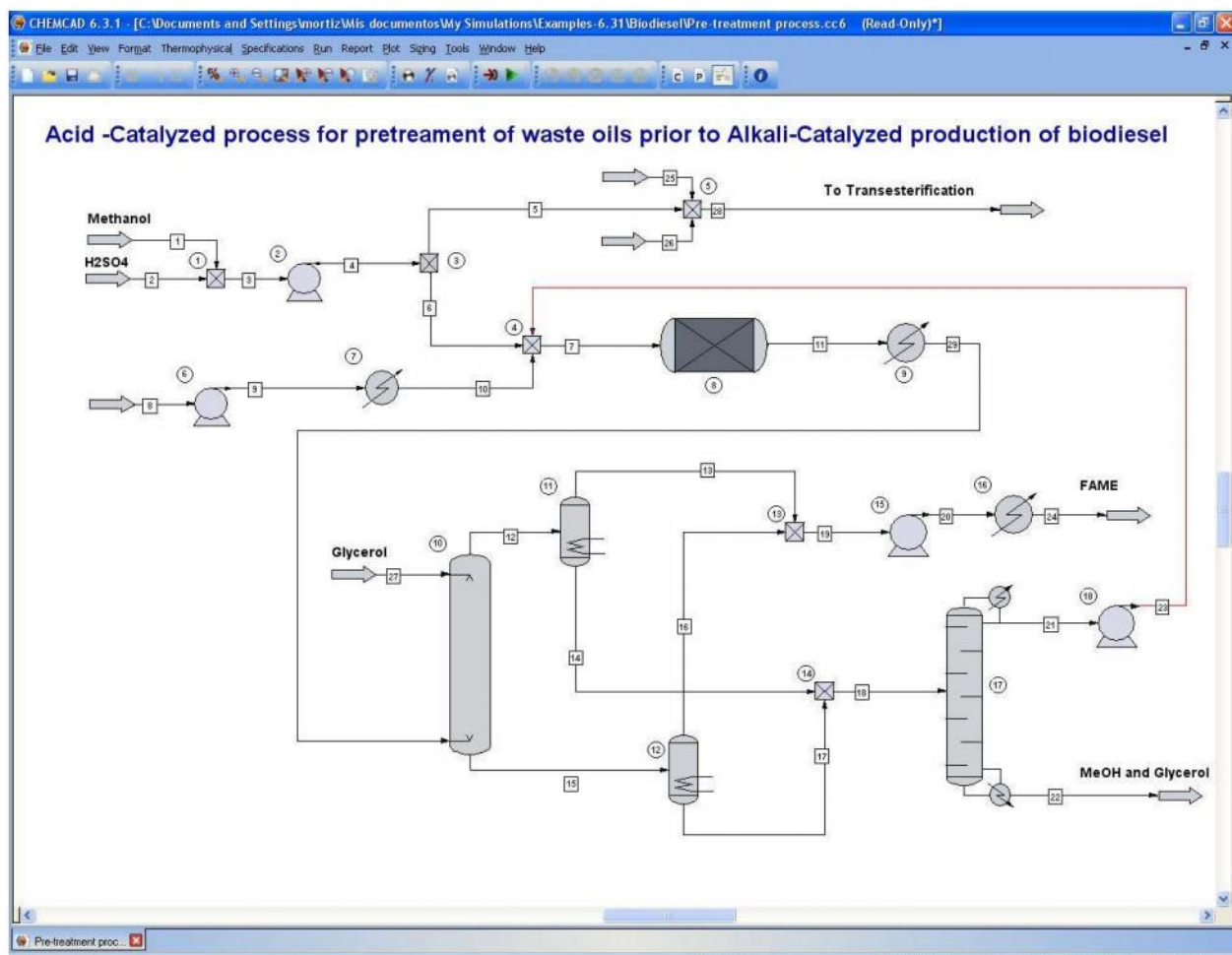


Рисунок 4 - Программный пакет CHEMCAD

ChemCAD позволяет решать задачи расчетно-технологического проектирования для моделирования и расчета технологических схем с рециклическими потоками органических и неорганических веществ и

непрерывных смесей (в случае нефтяных фракций), а также энергетических потоков и разработки технологического регламента для произвольного химико-технологического процесса [7].

ChemCAD позволяет создавать, анализировать и оптимизировать различные варианты технологического оформления производственных процессов, оценивать их эффективность и выбирать наилучший из них. Комплекс исследований с использованием ChemCAD дает возможность добиться удовлетворительного совпадения результатов расчетов с данными промышленных экспериментов, что позволяет решать задачи автоматического управления процессами и повышения эффективности действующих производств, определения оптимальных режимных и конструкционных параметров процессов в отдельных аппаратах с позиции всего производства в целом [7].

1.5 Постановка цели и задач исследования

Литературный обзор в области коррозии оборудования предприятий нефтеперерабатывающей отрасли показал, что сероводородная коррозия представляет собой значительную проблему для производств, которая приводит к разрушению материалов, используемых для изготовления аппаратов и трубопроводов, что значительно снижает срок службы оборудования, повышает расходы на его промывку и замену, увеличивает вероятность возникновения аварийных ситуаций, вызванных разрушением оборудования коррозией.

На установке гидродепарафинизации дизельных топлив проблема сероводородной коррозии возникает на стадии фракционирования стабильного гидрогенизата на конечные продукты. Возникновение коррозии оборудования верхнего тракта ректификационной колонны и трубопроводов связано с неэффективной работой колонны стабилизации, расположенной до стадии фракционирования в технологической цепочке производства. По проекту, в колонне стабилизации сероводород, приходящий в колонну с реакторного блока

и в составе бензина-отгона гидроочисток, должен полностью удаляться в составе верхнего продукта колонны и не попадать в стабильный гидрогенизат, который далее поступает в колонну фракционирования. Сероводород в составе стабильного гидрогенизата в колонне фракционирования полностью концентрируется в верхнем продукте колонны – стабильном бензине – и, как следствие, приводит к коррозии.

Решить проблему коррозии на установке каталитической депарафинизации возможно повышением эффективности работы колонны стабилизации продукта процесса гидродепарафинизации.

Таким образом, цель работы заключается в исследовании процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив с использованием метода математического моделирования для совершенствовании работы колонны стабилизации продукта процесса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: с применением модели, разработанной в среде HYSYS, исследовать влияние расхода орошения в колонну на степень отделения сероводорода, влияние расхода рециркулирующего стабильного бензина в колонну на степень отделения сероводорода, влияние расхода водородсодержащего газа в колонну, подобрать оптимальную схему направления потоков и оптимальных параметров эксплуатации колонны для заданных составов входного потока в колонну стабилизации.

2 Объект и методы исследования

Объект исследования – установка каталитической депарафинизации дизельных топлив Л-24-10/2000.

Исходными материалами для проведения исследования являлись свойства, экспериментальные данные, полученные на промышленной установке каталитической депарафинизации, включающие материальный баланс, технологические режимы работы колонны стабилизации, составы потоков колонны стабилизации.

2.1 Характеристика колонны стабилизации

Стабилизация гидрогенизата после реакторного блока происходит в колонне К-1. Внутренний диаметр колонны – 3200 мм, высота – 32505 мм. В колонне установлено 20 клапанных тарелок, наверху – 8 штук двухпоточных, внизу 12 штук четырехпоточных тарелок. Нестабильный гидрогенизат поступает в колонну на 12 тарелку. Технологические условия работы колонны стабилизации представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технологические условия работы колонны К-1

Технологические параметры	Значение
Расход, кг/ч	
Нестабильный гидрогенизат	251139
Бензин-отгон гидроочисток	7574
Стабильный бензин в П-2	1628
Углеводородный газ из С-4	4763
Легкий бензин	15120
Стабильный гидрогенизат в К-2	240458
Острое орошение К-1	49928
Температура, °С	
Низ колонны К-1	313
Верх колонны К-1	99
Питание колонны К-1	236
Выход стабильного гидрогенизата из печи П-2	364
Горячей струи К-1	370
Давление, кПа	
Верх колонны К-1	660
Низ колонны	К-1 670

Составы потоков входных и выходных потоков колонны стабилизации представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Составы потоков колонны стабилизации К-1

Компонент	Приход в колонну К-1			Расход из колонны К-1		
	НГ	БГО	СБ	УВГ	ЛБ	СБ
Н-парафины C ₁ –C ₄	0,00	0,65	0,00	60,80	60,80	13,29
Н-парафины C ₅ –C ₉	2,23	16,60	16,62	7,46	7,46	30,66
Н-парафины C ₁₀ –C ₂₇	12,06	5,65	0,01	0,00	0,00	0,00
Олефины	1,01	0,51	1,82	0,00	0,00	2,83
Нафтенy	28,1	29,14	30,76	0,00	0,00	6,89
И-парафины	33,01	41,79	42,03	25,57		45,20
МАУ	21,91	5,62	8,75	0,00	0,00	0,78
ПАУ	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сероводород	0,1368	0,0397	0,0100	0,0100	6,1726	0,3460

В таблице 3 приняты следующие обозначения: НГ – нестабильный гидрогенизат; БГО – бензин-отгон гидроочисток; СБ – стабильный бензин; УВГ – углеводородный газ; ЛБ – легкий бензин.

2.1.1 Сырье и продукты

Проектом установки Л-24-10/2000 предусмотрена работа на двух видах сырья:

- дизельное топливо в смеси с атмосферным газойлем и фракцией 30÷175°C (бензин висбрекинга) – производительность установки составляет 2,0 млн.т/год;

- атмосферный газойль в смеси с фракцией 30÷175°C (бензин висбрекинга) - производительность установки составляет 1,2 млн.т/год.

Установка позволяет вовлекать в производство дизельных топлив атмосферный газойль за счет облегчения его углеводородного состава и

депарафинизации, а также позволяет облагораживать фракцию 30÷175°C (бензин висбрекинга), что дает возможность получать дополнительный объем сырья для установок каталитического риформинга и изомеризации [1].

Суть процесса заключается в гидрировании сернистых, азот- и кислородсодержащих соединений, полиароматических углеводородов и гидродепарафинизации углеводородов с целью улучшения низкотемпературных свойств продуктов [3].

Продуктами установки являются дизельные фракции 180-240°C, 240-340°C, остаток > 340°C, стабильный бензин, фракция н.к.-90°C (легкий бензин), газ углеводородный очищенный.

- Дизельные фракции 180-240°C и 240-340°C используются в качестве компонентов при приготовлении летнего и зимнего дизельного топлива, остаток > 340°C используется в качестве компонента при приготовлении котельного топлива.

- Стабильный бензин используется в качестве компонента сырья на установках риформинга.

- Фракция н.к.-90°C (легкий бензин) используется в качестве компонента сырья на установках первичной переработки нефти.

- Газ углеводородный очищенный используется как топливо для печей установки, избыток сбрасывается в топливную сеть завода.

2.2 Методика моделирования колонны стабилизации в среде HYSYS

Разработка модели колонны стабилизации осуществлена с применением компьютерной системы HYSYS. В основе расчетов в данной системе лежат термодинамические методы расчета свойств смесей углеводородов. Первоначальным этапом моделирования колонны в HYSYS является создание списка компонентов исходной смеси и продуктов. Выбор списка компонентов основывается на наличии экспериментальных данных по составам потоков. Далее выбирается уравнение состояния. При моделировании колонны

стабилизации К-1 выбрано уравнение состояния Пенга-Робинсона, так как оно является наиболее часто применимым для углеводородных смесей, продуктов нефтехимии. Данное уравнение состояния с достаточной точностью описывает различные системы в широком интервале изменения условий. Используя это уравнение возможен расчет одно-, двух- и трехфазных систем с обеспечением высокой степени надежности. После задания списка компонентов, уравнения состояния, экспериментальных данных по составу потоков в среду моделирования устанавливается колонна, задаются ее конструкционные параметры и режим работы, спецификация. После этого проводится расчет колонны до тех пор, пока модель не станет адекватной, т.е. составы потоков и режим колонны не будут соответствовать экспериментальным данным с допустимой степенью погрешности.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Разрабатываемый проект направлен на разработку и составление математической модели в виде программного продукта для исследования и оптимизации процесса каталитической гидродепарафинизации дизельного топлива.

В настоящее время перспективность научного исследования определяется коммерческой ценностью разработки, что является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Целью данного раздела в бакалаврской работе является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [10].

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Потенциальные потребители результатов исследования:

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [11]. На рисунке 8 представлена карта сегментирования рынка по виду оказываемой услуги с применением математической модели процесса гидродепарафинизации дизельного топлива.

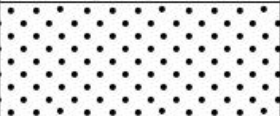
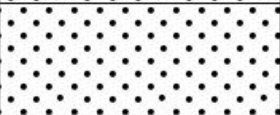
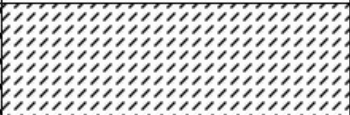
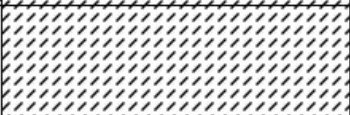
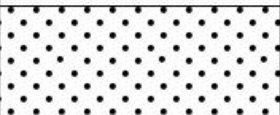
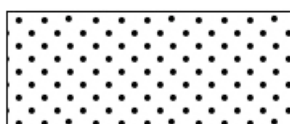
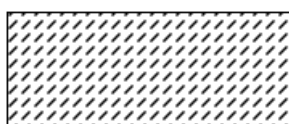
Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа тренировочной версии
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Мелкие НПЗ			
Образовательные учреждения			
Проектные организации			

Рисунок 8 – Карта сегментирования



Фирма А



Фирма Б



Фирма В

Благодаря этой карте становится понятно, какие ниши на рынке услуг по применению математической модели не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

Анализ конкурентных технических решений:

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

В таблице 8 представлен сравнительный анализ математической модели (Ф), разработанной в рамках выполнения ВКР и двух конкурентных моделей, выполненных в 2013 и 2014 годах соответственно.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к₁}	Б _{к₂}	К _ф	К _{к₁}	К _{к₁}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	2	2	0,45	0,18	0,18
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	5	3	3	0,35	0,21	0,21
Энергоэкономичность	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Надежность	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
Безопасность	0,04	5	5	5	0,2	0,2	0,2

Продолжение таблицы 8

Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,2	5	3	2	1	0,6	0,4
Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	4	0,28	0,35	0,28
Цена	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
Послепродажное обслуживание	0,07	5	5	2	0,35	0,35	0,14
Финансирование научной разработки	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
Срок выхода на рынок	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1	63	51	46	4,9	3,73	3,23

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Разрабатываемая математическая модель является конкурентоспособной на рынке, главным преимуществом которой, является чувствительность к составу перерабатываемого сырья.

SWOT-анализ:

Для комплексной оценки научно-исследовательского проекта применяют SWOT-анализ, результатом которого является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 9.

Таблица 9 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: 1. Возможность оптимизации важного процесса переработки нефтяного сырья – гидродепарафинизации. 2. Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов. 3. Возможность проведения необходимых исследований без вмешательства в работу. 4. Отсутствие аналогичных математических моделей по процессу. 5. Чувствительность к изменению состава сырья. 6. Наличие бюджетного финансирования. 7. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны проекта: 1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки. 2. Отсутствие учета в модели реакции коксообразования на катализаторе депарафинизации. 3. Отсутствие экспериментальных образцов для проведения анализа.
Угрозы: 1. Создание подобной модели на рынке в более быстрые сроки 2. Внедрение других моделей на предприятия отечественных НПЗ. 3. Отсутствие спроса не заинтересованность предприятий по внедрению инновационного проекта.	1. Продвижение новой технологии оптимизации процесса с применением математической модели. 2. Развитие конкурентной среды. 3. Введение в модель чувствительности к составу сырья.	1. Разработка научного исследования. 2. Повышение квалификации кадров у потребителя. 3. Приобретение необходимых экспериментальных данных по составу сырья и продукта с промышленной установки.
Возможности: 1. Внедрение разработанной модели на предприятия нефтепереработки для оптимизации процесса производства дизельных топлив. 2. Внедрение разработанной модели на производство для отработки действий персонала. 3. Внедрение системы в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения студентов. 4. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. 5. Внедрение на Российский НПЗ процесса гидродепарафинизации и соответственно повышение спроса на разрабатываемый продукт.	Разработка математической модели процесса каталитической гидродепарафинизации на основании физико-химической основы процесса с учетом реакционной способности углеводородов, участвующих в реакциях.	1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки. 2. Отсутствие данных о содержании кокса на катализаторе. 3. Повышение эффективности использования сырья на предприятии. 4. Повышение квалификации персонала на производстве 5. Создание тренировочной версии для обучения студентов основам процесса гидродепарафинизации, закономерностям процесса. 6. Отсутствие экспериментальных образцов для проведения анализа.

По его результатам были выявлены сильные и слабые стороны проекта, а также угрозы и возможности. Так же было выявлено то, как можно компенсировать слабые стороны проекта за счет его возможностей и нейтрализовать угрозы с помощью сильных сторон проекта. Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

4.2 Планирование и формирование бюджета научных исследований

В таблице 10 составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ.

Определение трудоемкости выполнения работ:

Ожидаемая трудоемкость выполнения [10]:

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

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

Таблица 10 - 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 исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материала	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
	5	Изучение литературы, термодинамический анализ реакций, составление формализованной схемы превращений	Аспирант, бакалавр
	6	Разработка кинетической модели	Аспирант, бакалавр, руководитель

Продолжение таблицы 10

	7	Проверка модели на адекватность	Аспирант
	8	Расчет на разработанной математической модели	Бакалавр
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	10	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель

Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	11	Составление пояснительной записки	Бакалавр
Проведение ОКР			
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	13	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	14	Защита дипломной работы	Бакалавр, руководитель

$t_{\min i}$ – 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.

Ожидаемая трудоемкость для этапов работы, приведенных в таблице 10 рассчитывается по формуле (3):

$$t_{\text{ож1}} = \frac{3*1 + 2*2}{5} = 1,4, \text{ чел.-дн.}$$

Для этапов 2 – 14 расчет аналогичен. Результаты в Приложении А.

Продолжительность каждой работы в рабочих днях [10]:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} \quad (4)$$

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 10 рассчитывается по формуле (5):

$$T_{p1} = \frac{1,4}{1} = 1,4$$

Для этапов 2 – 14 расчет аналогичен. Результаты в Приложении А.

Разработка графика проведения научного исследования:

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

$$T_{K_i} = T_{P_i} \cdot k_{\text{кал}} \quad (6)$$

где T_{K_i} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{P_i} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Продолжительность выполнения каждого этапа работы приведенных в таблице 10 рассчитывается по формуле (7).

$$T_{K1} = 1,4 \cdot 1,48 = 2,08 = 2$$

Для этапов 2-14 расчет аналогичен. результаты в Приложении А.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (8):

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

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.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

Все рассчитанные значения представлены в Приложении А.

На основе Приложения А строится календарный план-график Приложение Б.

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [10].

Расчет материальных затрат научно-технического исследования:

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [11]:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i} \quad (9)$$

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

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

Π_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 на приобретение тетради рассчитываются по формуле (10):

$$З_{\text{м}} = (1 + 7) \cdot 35 \cdot 1 = 219$$

Для остальных видов материальных ресурсов расчет аналогичен. Результаты в таблице 11.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед. с НДС, руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Руководитель	Аспирант	Бакалавр	Руководитель	Аспирант	Бакалавр	Руководитель	Аспирант	Бакалавр
Тетрадь	шт.	1	1	2	35	35	35	219	219	438
Ручка	шт.	1	2	4	50	50	50	425	850	1700
Флешка	шт.	1	1	1	250	250	250	9625	9625	9625
Картридж для принтера	мл	100	100	200	6	6	6	1140	1140	2280
Бумага	листов	500	500	600	0,45	0,45	0,45	240	240	288
Скоросшиватель	шт.	1	1	3	55	55	55	509	509	1526
Итого								12158	12583	15857

Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ:

Расчет затрат на приобретение программного обеспечения (ПО) в таблице 12.

Таблица 12 – Расчеты затрат на приобретение ПО

Наименование ПО			Стоимость ПО с НДС, руб.		
Руководитель	Аспирант	Бакалавр	Руководитель	Аспирант	Бакалавр
Microsoft office	Microsoft office	Microsoft office	2900	2900	2900
-	Delphi	Delphi	-	43800	43800
Итого:			2900	46700	46700

Расчет заработной платы:

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по окладам без кр, тыс. руб.
1	Разработка технического задания, выбор направления исследований, оценка результатов	Руководитель, к.т.н.	22	1,08	23,72
2	Теоретические и экспериментальные исследования	Аспирант	22	0,341	7,50
3	Расчет на разработанной модели, оформление отчета по НИР	Бакалавр	22	0,07	1,5
Итого					32,72

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (11)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (12)$$

$$ВТПУ \quad Z_{осн} = Z_б * K_p \quad (12^*)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (13)$$

В формуле (13) $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 13).

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Аспирант	Бакалавр
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней – выходные дни – праздничные дни	118	118	118
Потери рабочего времени – отпуск – невыходы по болезни	92	92	92
Действительный годовой фонд рабочего времени	155	155	155

Месячный должностной оклад работника [11]:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} * k_p \quad (14)$$

где $Z_{\text{б}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 14.

Таблица 14 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	T _{рi} , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	23724	1,3	30841,2	2228,5	14,5	345417,5
Аспирант	7500	1,3	9750	704,5	20,8	109197,5
Бакалавр	1500	1,3	1950	140,9	42,1	21839,5

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления):

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:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (15)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1% [11].

Результаты расчета в таблице 15.

Расчет затрат на научные и производственные командировки:

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.

Накладные расходы:

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не 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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) * k_{\text{нр}} \quad (16)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Результаты расчета в таблице 15.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта:

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку продукции [11].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Руководитель	Аспирант	Бакалавр
Материальные затраты	12158	12583	15857
Затраты на спец. Оборудование	2900	46700	46700

ЗП. Основная	345417,5	109197,5	21839,5
Отчисления во ВнФ	117 096,5	37017,9	-
Накладные расходы	83596,2	35151,1	13957,7
Бюджет НТИ	606072,5	254 845,3	101193,3

Согласно полученным результатам бюджет затрат НТИ составляет 962111,1 рублей.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как [10]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (17)$$

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 (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{ф}} = 1477048/2770452=0.53$$

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 16.

Таблица 16 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исполнение, I_p
1. Способствует росту производительности труда	0,1	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	2
3. Энергосбережение	0,15	4
4. Надежность	0,20	3
5. Воспроизводимость	0,25	5
6. Материалоемкость	0,15	4
ИТОГО	1	

$$I_p = 0,1 * 4 + 0,15 * 2 + 0,15 * 4 + 0,20 * 3 + 0,25 * 5 + 0,15 * 4 = 3,8$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (18)$$

$$I_{исп} = 3,8 / 0,53 = 7,2$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$) [10]:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (19)$$

Таблица 17 - Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исполнение, I_p
Интегральный финансовый показатель разработки	0,53

Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8
Интегральный показатель эффективности	7,2
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,1

В результате проведенной работы была спроектирована и создана конкурентоспособная разработка, отвечающая современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.