

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

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
Профиль Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов
Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив

УДК 665.753.4:665.637.73

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Усманова Екатерина Фаритовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Белинская Наталия Сергеевна	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	К.Х.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кузьменко Елена Анатольевна	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
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 новые технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
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.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностраным 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 образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
Профиль Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов
Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Е.Н. Кузьменко
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д33	Усмановой Екатерине Фаритовне

Тема работы:

Исследование процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 2589/с от 13.04.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

25.05.2018

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объект исследования: процесс каталитической депарафинизации дизельного топлива. Исследование влияния технологических параметров и оптимизация технологического режима процесса каталитической депарафинизации.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

1. Литературный обзор
 - 1.1 Дизельные топлива. Применение. Требования к дизельным топливам
 - 1.2 Основные нормируемые показатели качества дизельных топлив
 - 1.3 Производство дизельных топлив зимних и арктических марок в России
 - 1.4 Постановка цели и задач исследования
- 2 Объект и методы исследования
 - 2.1 Описание реактора, сырье и продукты, технологические параметры процесса депарафинизации
 - 2.2 Описание математической модели и компьютерной моделирующей системы процесса каталитической депарафинизации
- 3 Расчеты и аналитика
 - 3.1 Исследование влияния температуры на процесс каталитической депарафинизации
 - 3.2 Исследование влияние состава сырья на процесс каталитической депарафинизации
 - 3.3 Исследование влияния активности катализатора на процесс депарафинизации
- 4 Результаты проведенного исследования
- 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
 - 5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
 - 5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования
 - 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений
 - 5.1.3 SWOT-анализ
 - 5.2 Планирование научно-исследовательских работ
 - 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования
 - 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ
 - 5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования
 - 5.3 Бюджет научно-технического исследования
 - 5.3.1 Расчет материальных затрат НИИ
 - 5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ
 - 5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы
 - 5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы
 - 5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)
 - 5.3.6 Накладные расходы
 - 5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

	5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 6 Социальная ответственность 6.1 Профессиональная социальная безопасность 6.2 Экологическая безопасность 6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 6.4 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	Рыжакина Татьяна Гавриловна, к.э.н., доцент
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна, к.х.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	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Белинская Наталия Сергеевна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Усманова Екатерина Фаритовна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д33	Усмановой Екатерине Фаритовне

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Химической инженерии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология, профиль «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

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>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</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>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>График проведения и бюджет НИИ</i>
4. <i>Расчёт денежного потока</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i>
6. <i>Сравнительная эффективность разработки</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Усманова Екатерина Фаритовна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д33	Усмановой Екатерине Фаритовне

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Химической инженерии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология, профиль «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования - дизельное топливо. Процесс исследования - каталитическая депарафинизация дизельных топлив. Место проведения исследования – исследовательская лаборатория «Природные энергоносители» НИ ТПУ. Область применения - нефтеперерабатывающие производства.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Профессиональная социальная безопасность:	- анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования; - анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований; - обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.
2. Экологическая безопасность:	- анализ влияния объекта на окружающую среду; - анализ влияния процесса исследования на окружающую среду; - обоснование мероприятий по защите окружающей среды.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследования; - анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований; - обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- специальные правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д33	Усманова Екатерина Фаритовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 85 страниц, 15 рисунков, 16 таблиц, 35 источников.

Ключевые слова: КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕПАРАФИНИЗАЦИЯ, ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО, ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, ТЕМПЕРАТУРА ЗАСТЫВАНИЯ, ТЕМПЕРАТУРА ПОМУТНЕНИЯ, ПРЕДЕЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ФИЛЬТРУЕМОСТИ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Объектом исследования является процесс каталитической депарафинизации дизельного топлива.

Цель работы – получение дизельного топлива с низкой температурой застывания.

В процессе исследования изучено влияние температуры, состава сырья, активность катализатора на результаты процесса каталитической депарафинизации, а именно: ПТФ и выход целевого продукта (ДТ).

В результате исследования для повышения эффективности работы установки подобраны оптимальные режимы ведения процесса в зависимости от состава сырья и активности катализатора.

Область применения: нефтеперерабатывающие предприятия, где реализован процесс каталитической депарафинизации 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.

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

предельная температура фильтруемости: Максимальная температура, при которой топливо прекращает просасываться под вакуумом через стандартный фильтр.

Обозначения и сокращения

Данная работа содержит следующие обозначения и сокращения:

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

ДТ – дизельное топливо

ДВС – двигатель внутреннего сгорания

ПТФ – предельная температура фильтруемости

ТП – температура помутнения

ВСГ – водородсодержащий газ

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.
2. ГОСТ 55475-2013 Топливо Дизельное зимнее и арктическое депарафинизированное. Технические условия.
3. ГОСТ Р 52368-2005 (EN 590:2009) «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия (с Изменением № 1)»
4. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

5. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность.

6. ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

7. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

8. ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий.

Оглавление

Введение.....	14
1. Литературный обзор.....	16
1.1 Дизельные топлива. Применение. Требования к дизельным топливам.....	16
1.2 Основные нормируемые показатели качества дизельных топлив.....	21
1.3 Производство дизельных топлив зимних и арктических марок в России.....	30
1.4 Постановка цели и задач исследования.....	32
2 Объект и методы исследования.....	34
2.1 Описание реактора, сырье и продукты, технологические параметры процесса депарафинизации.....	34
2.2 Описание математической модели и компьютерной моделирующей системы процесса каталитической депарафинизации.....	36
3 Расчеты и аналитика.....	42
3.1 Исследование влияния температуры на процесс каталитической депарафинизации.....	42
3.2 Исследование влияние состава сырья на процесс каталитической депарафинизации.....	45
3.3 Исследование влияния активности катализатора на процесс депарафинизации.....	47
4 Результаты проведенного исследования.....	51
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	54
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	54
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	55
5.1.3 SWOT-анализ.....	56
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	58
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	58

5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	58
5.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	60
5.3	Бюджет научно-технического исследования.....	61
5.3.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	62
5.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	63
5.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы.....	63
5.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	65
5.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	65
5.3.6	Накладные расходы.....	66
5.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	66
5.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	67
6	Социальная ответственность.....	70
6.1	Профессиональная социальная безопасность.....	70
6.2	Экологическая безопасность.....	75
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	77
6.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	78
	Заключение.....	79
	Список используемых источников.....	81

Введение

В современных условиях экономические интересы России все более сдвигаются в зону Крайнего севера и побережья Ледовитого океана. Руководство страны ставит амбициозные цели по ее освоению и использованию северных морей для судоходства и добычи нефти, газа и других полезных ископаемых. Для решений этих задач требуется обеспечение транспорта дизельным топливом для холодного и арктического климата (ДТЗ). Кроме того, в силу особенности погоды на территории России рекомендуется применять именно топливо зимних и арктических марок в средней полосе в зимнее время [1, 2].

Одними из наиболее важных свойств дизельных топлив, обеспечивающих нормальную работу двигателя и топливоподающей системы при отрицательных температурах, являются низкотемпературные свойства: температура помутнения (ТП) и предельная температура фильтруемости (ПТФ) [3].

Получение низкозастывающих дизельных топлив для арктического климата – это технологически сложная задача, вследствие того, что топлива отличаются узким фракционным составом и определенным молекулярно-массовым распределением n-парафиновых углеводородов [4].

Разработками в области получения дизельного топлива для холодных условий окружающей среды занимаются следующие научные коллективы: ОАО «ВНИПИнефть», г. Москва (В.М. Капустин, И.Е. Кузора и др.) [5] ОАО «ВНИИ НП», г. Москва (В.А. Хавкин, Л.А. Гуляева и др.) [6], ООО «РН-ЦИР», г. Москва (Д.Н. Герасимов, В.В. Фадеев и др.) [7], УГНТУ, г. Уфа (Салихов А.И., и др.) [8], СибГТУ, г. Красноярск (О.А. Дружинин и др.) [9].

Объект исследования: процесс каталитической депарафинизации дизельных топлив.

Предмет исследования: закономерности влияния технологических параметров, состава сырья и активности катализатора на процесс депарафинизации.

Научная или практическая новизна: ВКР заключается в выявлении закономерностей влияния технологических параметров и состава сырья при различной активности катализатора, а также выявлении оптимальных режимов работы установки для различного состава сырья при различной активности катализатора.

Практическая значимость результатов ВКР: заключается в повышении эффективности работы промышленной установки каталитической депарафинизации за счет применения оптимальных режимов ведения процесса в зависимости от состава сырья и активности катализатора.

1 Литературный обзор

1.1 Дизельные топлива. Применение. Требования к дизельным топливам

В России в настоящее время наиболее востребованным видом топлив для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является дизельное топливо.

Дизельные топлива являются одним из самых массовых моторных топлив для наземного (автомобили, тракторы, тепловозы, большинство сухопутной боевой техники и др.) и водного транспорта, включая военно-морской флот. Автомобили, оснащенные дизельными двигателями, в том числе и легковые, в последнее время находят все большее распространение и успешно конкурируют с автомобилями, имеющими бензиновые двигатели с принудительным воспламенением топливовоздушной смеси. Дизельные топлива могут применяться и в газотурбинных установках вместо газотурбинного топлива.

В зависимости от назначения вырабатывают дизельные топлива двух групп: легкие – для быстроходных дизелей с числом оборотов коленчатого вала в минуту более 800, тяжелые – для тихоходных дизелей с числом оборотов коленчатого вала в минуту от 150 до 500 [10].

Основное количество выпускаемых в России дизельных топлив для быстроходных дизелей – это летнее дизельное топливо, объем производства которого достигает 90 % от общего объема дизельных топлив. На зимние марки топлив с температурой застывания минус 35 °С и минус 45 °С приходится 9 %, а арктического дизельного топлива, предназначенного для обеспечения районов Крайнего севера и Арктики и имеющего температуру застывания минус 55 °С, вырабатывается всего 1 %. Выпуск низкозастывающих дизельных топлив в России недостаточен, потребность в них удовлетворяется лишь на 40 % [11].

К современным дизельным топливам предъявляются следующие основные требования, обеспечивающие экономичную и надежную работу ДВС с самовоспламенением топлива, впрыскиваемого в сжатый в цилиндре воздух:

– хорошая распыляемость и испаряемость, позволяющие получить в цилиндрах дизельного двигателя однородную топливовоздушную смесь оптимального состава при любых температурах окружающего воздуха;

– групповой углеводородный и фракционный составы, обеспечивающие хороший пуск и устойчивый процесс сгорания топлива на всех режимах работы двигателя;

– достаточно полное сгорание топлива в двигателе с минимальным образованием нагара, дыма, сажевых частиц и др.;

– хорошая смазывающая способность, обеспечивающая длительную работу плунжерного топливного насоса высокого давления;

– малотоксичность дизельных топлив, а также выхлопных газов, образующихся при их сгорании в двигателях, минимальное воздействие на окружающую среду;

– постоянство состава и свойств, а также отсутствие вредного влияния на детали топливной системы, резервуары для хранения, резинотехнические изделия и др., при длительном хранении и транспортировке;

– при применении в зимнее время достаточная прокачиваемость по топливной системе и способность не застывать до определенных температур;

– достаточная пожаробезопасность, особенно при использовании в стационарных установках (в помещениях), на тепловозах и судах.

Общие требования к современным дизельным топливам так же, как и к другим моторным топливам, делятся на четыре группы: требования, связанные с работой двигателя; требования эксплуатации; требования, обусловленные необходимостью и возможностью массового производства; экологические требования.

Требования, связанные с работой дизельного двигателя, обеспечивающие нормальную и эффективную работу дизельного ДВС предполагают следующее:

– распространение фронта пламени в камере сгорания должно происходить с оптимальной скоростью на всех режимах работы с

необходимыми мощностными, экономическими и экологическими показателями (это требование регламентирует воспламеняемость (цетановое число и индекс) и индукционный период дизельного топлива, его групповой углеводородный и фракционный составы, вязкость, содержание неуглеводородных компонентов и др.);

– применяемое дизельное топливо должно обеспечивать при любых температурах окружающего воздуха экономичность ДВС, его хорошие пусковые характеристики, быстрый прогрев и высокую приемистость (переход с одного режима работы на другой), надежную работу форсунок, минимальное образование отложений во впускной и выпускной системах (это требование регламентирует такие показатели качества дизельных топлив, как испаряемость (фракционный состав), вязкость, зольность, теплота испарения, плотность, содержание смол, кислотность, коксуемость 10%-го остатка перегонки и др.);

– топливо должно обеспечивать достаточно высокий уровень смазки плунжерных пар топливного насоса высокого давления и при этом хорошо прокачиваться по топливной системе и распыляться до мелкодисперсного состояния форсунками двигателя (выполнение этого требования обеспечивается вязкостью, фильтруемостью, содержанием воды и механических примесей и др).

Эксплуатационные требования относятся к транспортировке, хранению и применению дизельного топлива в транспортных средствах или стационарных установках. Дизельное топливо после выработки на нефтеперерабатывающих заводах проходит длительный путь транспортирования трубопроводным, железнодорожным, водным и автомобильным транспортом и хранения в резервуарах завода-изготовителя, нефтебаз различного назначения и заправочных станций. Транспортирование, хранение и применение дизельных топлив непосредственно на транспортных средствах или в стационарных установках происходит в различных климатических условиях при температурах окружающего воздуха от минус 60 °С до плюс 40–45 °С. В связи с этим состав дизельных топлив должен

исключать возникновение трудностей при выполнении всех перечисленных операций в любых температурах окружающего воздуха и при этом сохранять свои основные эксплуатационные показатели качества с возможно меньшими потерями.

Эти требования эксплуатации регламентируют такие свойства дизельных топлив, как химическая стабильность при хранении, прокачиваемость, зависящая от температур помутнения и застывания, вязкостно-температурные характеристики, содержание механических примесей, воды и коррозионно-агрессивных соединений и др.

Требования производства относятся прежде всего к рентабельности производства дизельного топлива на нефтеперерабатывающих заводах.

При максимальной выработке на нефтеперерабатывающих заводах дизельного топлива возможно снижение ресурсов бензинов и реактивных топлив, поэтому нефтепереработчики заинтересованы в достаточно высокой цене на дизельное топливо для обеспечения рентабельности его производства.

Цены на дизельные топлива с улучшенными экологическими характеристиками должны покрывать издержки производства, связанные с их глубокой гидроочисткой и деароматизацией (гидрированием).

Цены на низкозастывающие дизельные топлива (зимние и арктические марки) должны учитывать облегчение их фракционного состава и, следовательно, уменьшение их отбора от нефти, а также применение процессов депарафинизации и (или) депрессорных присадок.

Требования производителей дизельных топлив заключаются в следующем:

- углеводородный состав и пределы кипения дизельных топлив должны максимально соответствовать смеси углеводородов, находящихся в среде некипящей части нефтей;

- воспламеняемость и индукционный период (задержка воспламенения) дизельных топлив не должны превышать максимального уровня, достижимого при использовании современных технологических процессов глубокой

переработки нефти с ее наименьшими прямыми потерями и превращением в побочные продукты. Так, цетановое число топлива должно быть установлено на оптимальном уровне для обеспечения возможности вовлечения в дизельные топлива продуктов вторичных процессов глубокой переработки нефти:

- нормы на показатели качества дизельных топлив должны позволять использовать для их производства нефти с различным углеводородным и фракционным составами и содержанием различных гетероатомных примесей;

- использование дорогостоящих компонентов и присадок, не производимых на заводах-изготовителях, должно быть минимальным.

Таким образом, требования производителей дизельных топлив ограничивают требования моторостроителей на определенном, оптимальном с точки зрения экономической целесообразности уровне, достижимом при использовании доступного сырья и современной технологии его переработки. При развитии нефтепереработки удовлетворяются все возрастающие требования моторостроителей.

Воздействие дизельного топлива на окружающую среду обусловлено токсичностью составляющих его углеводородов и неуглеводородных примесей, поэтому к дизельным топливам также применяются экологические требования.

Токсичностью обладают и некоторые продукты сгорания дизельных топлив. Токсичность дизельных топлив связана с их химическим и фракционным составом, при этом она тем выше, чем больше в топливах содержится непредельных и ароматических (в том числе полициклических) углеводородов и гетероатомных соединений [12].

Экологические требования к дизельному топливу постоянно ужесточаются. В России в настоящее время экологические и эксплуатационные характеристики дизельных топлив регулируются Техническими условиями [13,14], а также Техническим регламентом Таможенного Союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» [15].

1.2 Основные нормируемые показатели качества дизельных топлив

К основным нормируемым показателям качества, общим для всех марок дизельного топлива, относятся: цетановое число и (или) цетановый индекс; плотность при 20 °С или 15 °С; фракционный состав; кинематическая вязкость при температуре 20 °С или 40 °С; смазывающая способность; низкотемпературные свойства (температуры застывания и (или) помутнения, предельная температура фильтруемости); температура вспышки в закрытом тигле; содержание серы; содержание меркаптановой серы; содержание сероводорода; содержание ароматических углеводородов или полициклических ароматических углеводородов; испытание на медной пластинке (коррозия медной пластинки); концентрация (содержание) фактических смол; окислительная стабильность; содержание воды; содержание механических примесей, общее загрязнение и коэффициент фильтруемости; зольность; йодное число; кислотность; коксуемость 10 %-го остатка перегонки.

При введении в дизельное топливо метиловых эфиров жирных кислот определяют и их содержание в топливе.

Цетановое число – основной показатель воспламеняемости дизельных топлив. Оно определяет легкость запуска двигателя, жесткость рабочего процесса (скорость нарастания давления в цилиндре), расход топлива и дымность отработанных газов.

Чем выше цетановое число, тем ниже скорость нарастания давления в цилиндрах и тем более мягко работает и легче пускается дизельный двигатель. Однако при повышении цетанового числа сверх оптимального ухудшается экономичность ДВС и повышается дымность выхлопных газов.

Цетановое число дизельных топлив зависит от их углеводородного и фракционного составов. Наиболее высокими цетановыми числами обладают нормальные парафиновые углеводороды. С повышением их молекулярной массы цетановые числа повышаются, а по мере разветвления – снижаются. Самые низкие цетановые числа у ароматических углеводородов, не имеющих

боковых цепей. Ароматические углеводороды с боковыми цепями имеют более высокие цетановые числа, причем тем больше, чем длиннее боковая парафиновая цепь. Олефиновые углеводороды обладают более низкими цетановыми числами, чем соответствующие им по строению парафиновые углеводороды. Нафтеновые углеводороды характеризуются невысокими цетановыми числами, которые, тем не менее, выше, чем у ароматических углеводородов. В целом воспламеняемость дизельного топлива тем выше, чем оно богаче водородом (больше соотношение H:C).

Следовательно, ряд убывания цетановых чисел выглядит следующим образом: нормальные парафиновые углеводороды > изопарафиновые углеводороды > нафтены > ароматические углеводороды.

Прямогонные нефтяные фракции 180–360 °С, особенно полученные из нефтей парафинового основания, имеют высокие цетановые числа, а ароматизированные фракции легких газойлей термического и каталитического крекингов, коксования и некоторых других вторичных процессов характеризуются низкими цетановыми числами.

Чем выше температуры выкипания дизельного топлива, тем выше его цетановое число.

В нефтепереработке и химической мотологии нефтепродуктов принято цетановое число нормального гексадекана или цетана ($C_{16}H_{34}$) равным 100 единицам, а цетановое число α -метилнафталина ($C_{11}H_{10}$) – равным 0.

Таким образом, цетановым числом дизельного топлива называется объемное процентное содержание цетана в такой его смеси с α -метилнафталином, которая по воспламеняемости равноценна испытываемому дизельному топливу.

Плотность дизельных топлив нормируется при 20 или 15 °С, определяет процессы испарения и смесеобразования в двигателе и зависит от углеводородного и фракционного составов. Наибольшей плотностью обладают ароматические углеводороды, наименьшей – парафиновые. Нафтеновые

углеводороды занимают промежуточное положение. Более тяжелое по фракционному составу дизельное топливо имеет и большую плотность.

Более низкая плотность обеспечивает лучшее распыление топлива и его более полное сгорание, что приводит к меньшему удельному расходу дизельного топлива и снижает дымность выхлопных газов. Однако топлива, имеющие чрезмерно низкую плотность, обладают и низкими цетановыми числами, вязкостью и др.

Определяется плотность по ГОСТ 3900 или ГОСТ Р 51069.

Фракционный состав оказывает влияние на процесс горения дизельного топлива в цилиндрах двигателя. На сгорание топлива более легкого фракционного состава расходуется меньше воздуха, и процессы смесеобразования протекают более полно. При значительном понижении температур выкипания топлива к моменту его самовоспламенения в цилиндре двигателя накапливается большое количество паров, при этом горение сопровождается чрезмерным повышением давления и стуками. При утяжелении дизельных топлив по фракционному составу и, как следствие, повышении их вязкости отмечается повышенный расход топлива и увеличение дымности выхлопных газов из-за худшего распыла топлива форсунками и его неполного сгорания.

Расход топлива зависит не только от его температуры конца кипения, определяющей полноту испарения, но и от температуры выкипания 50 % об. топлива (или от объема топлива, выкипающего до 250 °С), характеризующей испаряемость топлива на переходных режимах работы двигателя. Чем выше температура выкипания 50 % об. (или меньше объем топлива, выкипающего до 250 °С), тем больше расход топлива.

От фракционного состава зависят плотность, вязкость, температура застывания и вспышки, содержание смол в топливе и др.

Определяется фракционный состав по ГОСТ 2177.

Кинематическая вязкость является противоположным свойством, зависит от химического и фракционного состава топлива и оптимизируется по прокачиваемости, распыляемости и смазывающей способности.

С увеличением вязкости топлива возрастает гидравлическое сопротивление топливной системы, ухудшается распыл топлива форсунками и сокращается коэффициент заполнения топливного насоса высокого давления.

С уменьшением вязкости растет просачиваемость топлива через зазоры плунжерных пар топливного насоса высокого давления, а также ухудшается его смазка самим перекачиваемым топливом.

Кинематическая вязкость нормируется при 20 или 40 °С, определяется по ГОСТ 33-2000 и имеет по вышеуказанным причинам верхнее и нижнее предельные значения.

В современных дизельных топливах для характеристики их противоположных свойств, помимо кинематической вязкости, нормируется также смазывающая способность, определяемая, как верхний предел скорректированного диаметра пятна износа при 60 °С. Этот показатель зависит не только от кинематической вязкости, но и от углеводородного состава, наличия в дизельном топливе сероорганических соединений, придающих топливу хорошие противоположные свойства, и противоположных присадок.

Зависимость смазывающей способности дизельных топлив от содержания в них сернистых соединений объясняется способностью серы образовывать на поверхностях трения новые химические соединения в виде твердых пленок из оксидов и сульфидов металлов. Эти пленки увеличивают износостойкость и уменьшают силу трения. В гидроочищенных дизельных топливах по мере увеличения глубины гидроочистки происходит изменение не только количества, но и состава сернистых соединений. В топливах с содержанием серы менее 0,05 % мас. сернистые соединения представлены относительно стабильными веществами, в основном тиофенами, бенз- и дибензтиофенами, обладающими недостаточной хемосорбционной

активностью для образования поверхностных пленок, препятствующих износу металла.

Оказывает влияние на смазывающую способность дизельных топлив и состав ароматических углеводородов. Наибольшей смазывающей способностью обладают трициклические ароматические углеводороды, наименьшей – моноциклические, а бициклические имеют промежуточную смазывающую способность.

Таким образом, производство низкосернистых и низкоароматизированных дизельных топлив снижает их смазывающую способность и предполагает необходимость использования противоизносных присадок.

Смазывающая способность определяется по ЕН ИСО 12156:1/2000 или по ASTM D 6079.

К низкотемпературным свойства дизельных топлив относятся температуры застывания и помутнения, а также предельная температура фильтруемости.

Температура застывания – это та температура, при которой топливо в пробирке, наклоненной в горизонтальное положение, не смещает свою поверхность в течение 5 секунд.

Эта температура определяет условия складского хранения и транспортирования топлива.

Температура помутнения – это та максимальная температура, при которой в топливе начинают кристаллизоваться нормальные парафиновые углеводороды и оно меняет прозрачность (мутнеет) в проходящем свете в сравнении с арбитражным (параллельным) образцом.

Предельная температура фильтруемости – это та максимальная температура, при которой топливо прекращает просасываться под вакуумом (остаточное давление 1,96 кПа) через стандартный фильтр.

Температура помутнения и предельная температура фильтруемости определяют условия применения дизельного топлива. Обычно предельная

температура фильтруемости дизельных топлив, не содержащих депрессорные присадки, равна или ниже температуры помутнения на 1–2 °С, а температура застывания ниже температуры помутнения на 5–7 °С. Для топлив, содержащих депрессорные присадки, предельная температура фильтруемости ниже температуры помутнения на 10 °С и более.

Низкотемпературные свойства дизельных топлив зависят от их углеводородного и фракционного составов. С утяжелением фракционного состава и, как следствие, с увеличением молекулярной массы углеводородов температуры помутнения и застывания и предельная температура фильтруемости дизельных топлив повышаются. С увеличением содержания нормальных парафиновых углеводородов эти температуры также повышаются, а с увеличением содержания разветвленных парафиновых углеводородов – снижаются. Ароматические и нафтеновые углеводороды также способствуют улучшению низкотемпературных свойств дизельных топлив. Температура помутнения дизельного топлива не зависит от суммарного содержания в нем нормальных парафиновых углеводородов, а в основном определяется наличием этих углеводородов, имеющих большую молекулярную массу.

Температуру застывания определяют по ГОСТ 20287, температуру помутнения – по ГОСТ 5066, а предельную температуру фильтруемости – по ГОСТ 22254.

Температура вспышки в открытом тигле характеризует пожароопасность дизельного топлива при его хранении и применении.

Чем ниже эта температура, тем большую пожароопасность имеет топливо.

Температура вспышки в закрытом тигле для дизельных топлив определяется по ГОСТ 6356.

В дизельных топливах определяется содержание общей и меркаптановой серы и наличие сероводорода.

Содержание общей и меркаптановой серы оказывает влияние на нагарообразующие свойства дизельных топлив, но главным образом их

предельное содержание ограничивается из-за коррозионной агрессивности. По этой же причине в дизельных топливах должен отсутствовать сероводород. Кроме того, наличие сернистых соединений в дизельных топливах приводит при их сгорании в двигателе к образованию оксидов серы (SO_2 и SO_3), которые значительно увеличивают экологическую нагрузку на окружающую среду.

Однако следует отметить, что, как показано выше, наличие сернистых гетероатомных соединений повышает смазывающую способность дизельных топлив и улучшает их противоизносные свойства.

Определение содержания общей серы проводят по ГОСТ 19121 или ГОСТ Р 51947, а меркаптановой серы и сероводорода – по ГОСТ 17323.

Содержание ароматических углеводородов в дизельных топливах стали нормировать сравнительно недавно, что связано с ужесточением экологических требований. Ароматические углеводороды и, особенно, полициклические весьма токсичны и канцерогенны, приводят к загрязнению окружающей среды. Ароматические углеводороды способствуют также образованию нагара на узлах и деталях дизельных двигателей и увеличению дымности выхлопных газов.

Содержание ароматических углеводородов определяют по ГОСТ 6994, а полициклических – по EN 12916:2000 и IP391-95.

Коррозионная агрессивность дизельного топлива контролируется испытанием на медной пластинке. Этот анализ проводят по ГОСТ 6321 или по EN ИСО 2160:1998.

Дизельные топлива должны быть химически нейтральными и не вызывать коррозию металлов, из которых изготавливают топливную систему двигателя, а продукты их сгорания – коррозию деталей камеры сгорания и выхлопной системы.

Концентрация (содержание) фактических смол. Концентрация смол является показателем нагарообразования и коксоотложений у форсунок дизельного двигателя. Повышенное нагаро- и коксообразование у форсунок

приводят к нарушению дисперсности распыления топлива и местным перегревам.

Коррозионная активность определяется по ГОСТ 1567 или ГОСТ 8489.

Окислительная (или химическая) стабильность дизельного топлива – это его способность противостоять окислительным процессам, протекающим при хранении.

При современной тенденции к углублению переработки нефти в состав дизельных топлив вовлекаются легкие газойли каталитического и термического крекингов, висбрекинга, коксования, которые обогащены ненасыщенными углеводородами, а также содержат значительные количества сернистых, азотистых и смолистых соединений. Наличие гетероатомных соединений, особенно в сочетании с ненасыщенными углеводородами, способствует их окислительной полимеризации и поликонденсации, тем самым влияя на образование смол и осадков. Самыми сильными промоторами смоло- и осадкообразования являются азотистые и сернистые соединения.

Окислительная стабильность дизельных топлив определяется по ЕН ИСО 12205:1996 и по ASTM D 2274-2003.

Коррозионная агрессивность дизельных топлив и продуктов их сгорания, помимо других факторов, зависит также от содержания в них воды. Кроме того, от содержания воды зависит теплотворная способность топлива и его низкотемпературные свойства (при отрицательных температурах окружающего воздуха вода может образовывать кристаллы льда, которые вызовут нарушения в работе топливной системы).

В современных отечественных дизельных топливах воды может содержаться до 200 мг/кг топлива.

Содержание воды определяется по ГОСТ 2477 или по ЕН ИСО 12937:2000.

Содержание механических примесей, общее загрязнение и коэффициент фильтруемости характеризуют загрязненность дизельных топлив. Грязь и другие механические примеси в дизельных топливах приводят к нарушениям в

работе топливной системы и форсунок и абразивному износу узлов и деталей двигателя.

Содержание механических примесей определяется по ГОСТ 10577, общее загрязнение – по EN 12662:1998, а коэффициент фильтруемости – по ГОСТ 19006.

При сгорании в двигателе дизельного топлива может образовываться зола из содержащихся в топливе солей высокомолекулярных органических кислот и несгораемых механических примесей. Зола увеличивает абразивный износ стенок камер сгорания и выхлопной системы, а также приводит к повышенному нагарообразованию в двигателе, поэтому для дизельных топлив установлен верхний предел зольности.

Зольность определяют по ГОСТ 1461, по EN ИСО 6245:2002 или по ASTM D 482-2003.

Йодное число характеризует наличие в дизельных топливах олефиновых углеводородов и в определенной степени указывает на химическую стабильность топлива. Йодное число определяется по ГОСТ 2070.

Кислотность является прямым показателем содержания в дизельных топливах органических кислот и выражается количеством щелочи, пошедшей на их нейтрализацию. Вместе с другими показателями (испытание на медной пластинке, содержание общей серы и др.) по значению кислотности судят о коррозионной активности дизельных топлив при хранении, транспортировке и в топливной системе дизельного двигателя.

Кислотность определяют по ГОСТ 5985.

Коксообразующая способность дизельного топлива определяется по коксуемости 10%-го остатка перегонки. Коксовые отложения образуются в камерах сгорания двигателя, у форсунок, клапанов и в выхлопной системе и приводят к нарушениям в их работе и местным перегревам.

Коксуемость 10%-го остатка перегонки дизельных топлив определяют по ГОСТ 19932, по EN ИСО 10370:1995, по ASTM D 189-2001 и ASTM D 4530-2003 [12].

1.3 Производство дизельных топлив зимних и арктических марок в России

Доля производимого в России дизельного топлива (ДТ) для использования в условиях холодного и арктического климата составляет около 18 % от общего объема выпускаемого ДТ [16]. Однако особенности географического положения нашей страны обуславливают не только вдвое большую потребность в низкозастывающем ДТ, но и перспективу ее увеличения ввиду освоения Севера, Восточной Сибири, Дальнего Востока и Арктики [17].

Ухудшение низкотемпературных свойств обусловлено присутствием в нефтяных фракциях нормальных и слаборазветвленных парафинов, а также нафтеновых углеводородов с длинными боковыми цепями, образующими в процессе эксплуатации при пониженных температурах кристаллы, блокирующие работу механизмов [18]. Эти компоненты могут быть удалены различными физико-химическими способами: понижением конца кипения, использованием растворителей, низкотемпературной кристаллизацией, проведением селективного гидрокрекинга и др [19].

Существует достаточно много вариантов получения нефтепродуктов с улучшенными низкотемпературными свойствами. Дизельное топливо для холодного и арктического климата можно получить следующими способами:

- понижением температуры конца кипения, перерабатывая дизельное топливо «летнее» (вторичная перегонка, разбавление керосином/бензином) или выделяя из нефти фракцию 140-300 °С. Недостаток этого способа – увеличение пожароопасности топлива, прекращение производства авиационного керосина и «летнего» дизельного топлива;

- применением депрессорных присадок и диспергаторов парафинов, снижающих температуру застывания, мало влияющих на температуру помутнения, что ограничивает возможность их применения. В России

допускается применение нескольких зарубежных присадок, так как производство отечественных диспергаторов отсутствует;

- электродепарафинизацией для частичного удаления высокоплавких парафинов. Проведение процесса возможно только при совместном использовании электрического поля и депрессорных присадок, низкотемпературные свойства при этом улучшаются всего лишь на 10-15 °С;

- депарафинизацией кристаллизации, основанной на понижении растворимости парафинов нефтепродуктах при охлаждении. Кристаллические образования отделяют от раствора фильтрованием или центрифугированием, при этом уменьшается выход дизельного топлива;

- карбидной депарафинизацией, основанной на способности парафинов образовывать с карбамидом комплексы, нерастворимые в нефтяных продуктах. Полное удаление высокомолекулярных углеводородов этим методом не достигается. при этом температура застывания топлива обеспечивается минус 35 °С, температура помутнения снижается до минус 11 °С;

- экстрагированием, исходящим из способности некоторых растворителей селективно разделять низкозастывающие и высокозастывающие компоненты нефтяных продуктов. Экстракционная депарафинизация является энергоемкой и нетехнологичной, а в настоящее время и экологически недопустимой;

- использованием сорбентов, избирательно адсорбирующих из нефтяного сырья либо застывающие, либо низкозастывающие компоненты. В качестве сорбентов применяют активированный уголь, молекулярные сита из цеолита типа А;

- каталитическими процессами гидрокрекинга, депарафинизацией и изомеризацией, направленные на изменение углеводородного состава топлива, что обеспечивает снижение не только температуры застывания, но и предельной температуры фильтруемости и температуры помутнения;

- получением из растительных масел биодизеля с высоким цетановым числом – 56-58 ед. Экологически чистое топливо снижает эмиссию вредных

веществ по сравнению с нефтяным дизельным топливом. Массовому применению мешает необходимость внесения изменений в конструкцию дизельных моторов и высокие затраты на производство топлива.

Несмотря на разнообразие предлагаемых методов, зимние сорта дизельного топлива российские нефтеперерабатывающие заводы в настоящее время получают каталитической депарафинизацией, добавлением депрессорных присадок и понижением температуры конца кипения.

Каталитическую, карбамидную, низкотемпературную депарафинизацию и добавление депрессоров применяют не только для получения низкозастывающего дизельного топлива, но и для снижения температуры застывания масляных фракций. В процессе каталитической депарафинизации происходят химические преобразования углеводородов – это принципиальное отличие данного метода. При производстве низкозастывающих нефтепродуктов каталитической депарафинизацией можно вовлекать в переработку тяжелые фракции, увеличивая количество вырабатываемой продукции.

1.4 Постановка цели и задач исследования

Обзор источников литературы показал, что дизельное топливо является важнейшим и востребованным продуктом нефтеперерабатывающей промышленности. Вместе с тем, в последние годы существует тенденция внедрения на нефтеперерабатывающие заводы современного процесса производства дизельного топлива зимних и арктических марок – каталитической депарафинизации – взамен некаталитических способов, обладающих рядом недостатков, в сравнении с процессом каталитической депарафинизации.

Такая тенденция обусловлена несколькими факторами. Во-первых, в последние десятилетия происходит резкое сокращение запасов нефти нафтенного типа и преобладание доли тяжелой парафинистой нефти в объеме добычи. Как было выявлено из литературного обзора, высокомолекулярные

парафины, присутствующие в тяжелых и среднестиллятных фракциях нефти, являются теми компонентами дизельных топлив, которые при низких температурах окружающей среды застывают в первую очередь. Как следствие, в производство внедряется процесс каталитической депарафинизации, позволяющий уменьшить содержание таких парафинов в дизельном топливе.

Во-вторых, использование процесса каталитической депарафинизации является более дешевым способом, чем использование других процессов углубленной и глубокой переработки нефти (процесса гидрокрекинга, каталитического крекинга), за счет меньших капитальных и эксплуатационных затрат, более мягких условий процесса, а также схожести технологий с процессом гидроочистки, что позволяет комбинировать гидроочистку и депарафинизацию.

Анализ литературы также показал, что современные разработки в области процесса каталитической депарафинизации сосредоточены на приготовлении катализаторов данного процесса, а не на исследование и оптимизацию действующих производств.

Таким образом, целью данного исследования является повышение эффективности процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива с применением метода математического моделирования.

Чтобы достичь поставленную цель, в данной работе проведен мониторинг процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив, исследовано влияние технологических параметров на процесс депарафинизации, проведена оптимизация технологического режима процесса.

2 Объект и методы исследования

2.1 Описание реактора, сырье и продукты, технологические параметры процесса депарафинизации

Объектом исследования является процесс каталитической депарафинизации дизельных топлив.

Целью процесса каталитической депарафинизации является получение дизельного топлива с низкой температурой застывания (от минус 18 °С до минус 68 °С) [20].

На рисунке 2.1 представлена схема реактора процесса каталитической депарафинизации дизельных топлив.

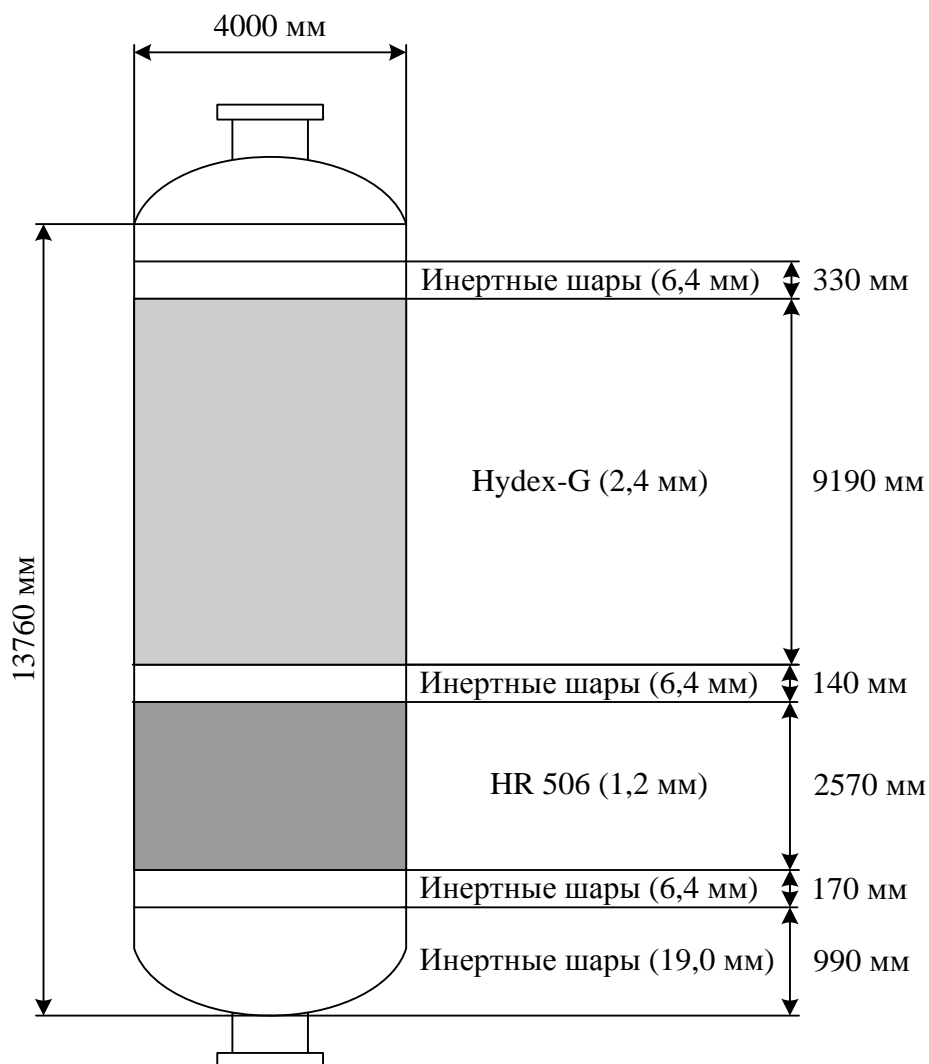


Рисунок 2.1 – Схема реактора процесса каталитической депарафинизации

Промышленный реактор процесса каталитической депарафинизации представляет собой вертикальный аппарат с аксиальным вводом сырья. В нижнюю часть реактора загружены инертные шары диаметром 19,0 мм. Сверху данного слоя располагаются инертные шары размером 6,4 мм. Сверху слоя инертных шаров расположен Со-Мо катализатор с размером частиц 1,2 мм. Данный катализатор позволяет удалять непредельные соединения или меркаптаны, которые могут образовываться в ходе реакции депарафинизации. Для обеспечения разделения между слоями катализаторов гидроочистки и депарафинизации загружен слой инертных шаров размером 6,4 мм.

Сверху данного слоя загружен катализатор депарафинизации с размером частиц 2,5 мм. Высота реактора – 13760 мм, диаметр реактора – 4000 мм [21].

Сырьем процесса может являться смесь атмосферного газойля и прямогонной дизельной фракции или атмосферный газойль. Плотность сырья находится в интервале 830-870 кг/м³, содержание серы – не более 1,5 % мас. Также в процесс депарафинизации может вовлекаться бензин висбрекинга, характеризующийся температурой начала кипения – 30 °С, конца кипения – 175 °С, содержанием серы – не более 0,8 % мас.

Получаемые продукты включают: фракция 180-240 °С, гидроочищенная с содержанием серы – не более 0,0005 % мас., используемая в качестве компонента дизельных топлив; фракция 240-340 °С, гидроочищенная с содержанием серы – не более 0,0010 % мас., используемая в качестве компонента дизельных топлив; фракция >340 °С, гидроочищенная с содержанием серы – не более 0,0010 % мас., используемая в качестве компонента дизельных топлив и мазутов; стабильный бензин, имеющий температуру начала кипения – 85 °С, конца кипения – 180 °С, с содержанием серы – не более 0,0005 % мас., используемый в качестве компонента сырья установки каталитического риформинга бензинов или в качестве компонентов автомобильных бензинов; легкий бензин, имеющий температуру конца кипения – не выше 94 °С, используемый в качестве компонента сырья установки изомеризации, блока стабилизации и вторичной перегонки бензина установок

первичной перегонки нефти, в качестве компонента низкооктановых бензинов; газ углеводородный сухой, используемый в качестве компонента топливного газа [22, 23].

В таблице 2.1 представлены нормы технологического режима процесса каталитической депарафинизации согласно технологическому регламенту установки.

Таблица 2.1 – Нормы технологического режима процесса каталитической депарафинизации

Показатель режима	Единица измерения	Допустимые пределы технологических параметров
Давление на входе	МПа	не более 8,61
Перепад давления по реактору	МПа	не более 0,45
Температура на входе	°С	315 – 405
Температура в слое катализатора	°С	315 – 405
Температура наружной стенки катализатора	°С	не более 420
Расход квенча водородсодержащего газа в реактор	м ³ /ч	не более 34250

2.2 Описание математической модели и компьютерной моделирующей системы процесса каталитической депарафинизации

В качестве математической модели приведена формализованная схема превращений. Данная модель информативна с точки зрения механизма процесса каталитической депарафинизации на бифункциональном катализаторе и учитывает реакционную способность углеводородов в зависимости от числа атомов их молекуле. Выбранный уровень формализации химических превращений учитывает протекание как целевых, так и побочных реакций в процессе каталитической депарафинизации и позволяет, с одной стороны, сократить размерность математической модели и количество экспериментально определяемых параметров, а с другой, сохранить чувствительность модели к составу сырья и дает возможность прогнозировать состав и качество продукта.

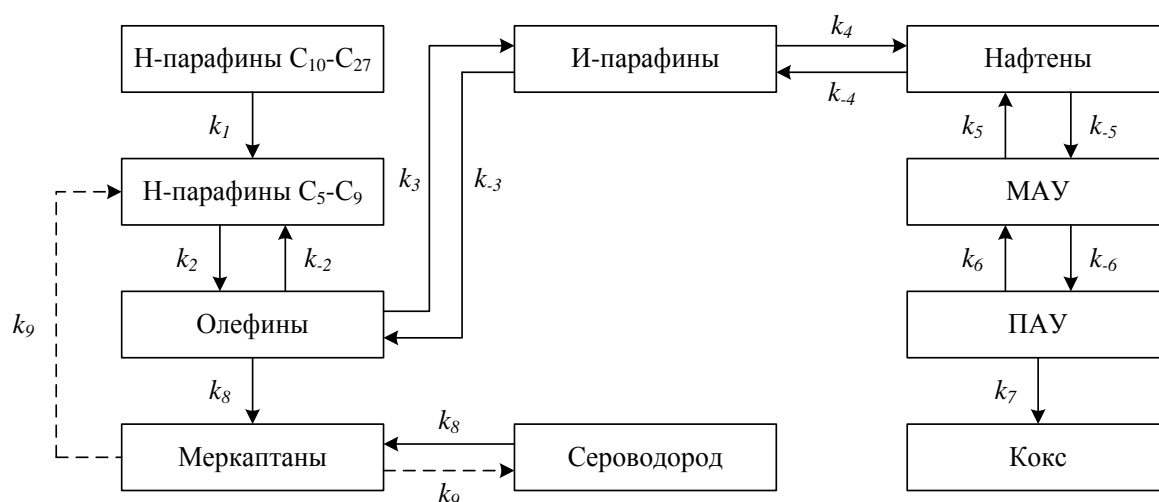


Рисунок 2.2 - Формализованная схема превращений углеводородов в процессе каталитической депарафинизации: н-парафины $C_{10}-C_{27}$ – парафины нормального строения с числом атомов углерода от 10 до 27; н-парафины C_5-C_9 – парафины нормального строения с числом атомов углерода от 5 до 9; МАУ – моноароматические углеводороды; ПАУ – полиароматические углеводороды; k_j – константа скорости j -й прямой реакции; k_{-j} – константа скорости j -й обратной реакции.

На основе составленной формализованной схемы химических превращений разработана кинетическая модель процесса каталитической депарафинизации, которая представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений изменения концентраций групп компонентов по времени с начальными условиями.

При разработке кинетической модели и определении ее параметров сделано допущение, что процесс является гомогенным. Исходя из принятого допущения, скорости реакций процесса каталитической депарафинизации записаны согласно закону действующих масс и представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Уравнения скоростей реакций процесса депарафинизации

№	Реакция	Прямая реакция	Обратная реакция
Процесс депарафинизации			
1.	Гидрокрекинг н-парафинов $C_{10}-C_{27}$	$W_1 = k_1 \cdot C_{n-P_{C_{10}-C_{27}}} \cdot C_V$	–
2.	Дегидрирование н-парафинов C_5-C_9	$W_2 = k_2 \cdot C_{n-P_{C_5-C_9}}$	$W_{-2} = k_{-2} \cdot C_{Ol} \cdot C_V$
3.	Изомеризация олефинов	$W_3 = k_3 \cdot C_{Ol} \cdot C_V$	$W_{-3} = k_{-3} \cdot C_{i-P}$

Продолжение таблицы 2.2

4.	Циклизация n-парафинов	$W_4 = k_4 \cdot C_{i-P}$	$W_{-4} = k_{-4} \cdot C_{Naft} \cdot C_V$
5.	Гидрирование моноароматических углеводородов	$W_5 = k_5 \cdot C_{MAY} \cdot C_V^3$	$W_{-5} = k_{-5} \cdot C_{Naft}$
6.	Гидрирование полиароматических углеводородов	$W_6 = k_6 \cdot C_{PAY} \cdot C_V$	$W_{-6} = k_{-6} \cdot C_{MAY}^2$
7.	Образование кокса	$W_7 = k_7 \cdot C_{PAY}$	–
8.	Образование меркаптанов	$W_8 = k_8 \cdot C_{Ol} \cdot C_{SV}$	–
Процесс гидроочистки			
9.	Гидрирование меркаптанов	$W_9 = k_9 \cdot C_{Merk} \cdot C_V^2$	–

Чтобы внедрить метаматематическую модель на производство необходимо реализовать ее в виде компьютерной программы, которая будет обеспечивать возможность ее использования, как разработчиком модели, так и персоналом производства, который заинтересован в повышении ресурсоэффективности производства.

Программный продукт, содержащий в качестве основы математическую модель процесса каталитической депарафинизации, должен соответствовать ряду требований, таких как: точность расчетов, возможность осуществления прогнозных расчетов и оптимизации технологических режимов эксплуатации действующей промышленной установки каталитической депарафинизации (данное требование обеспечивается тем фактом, что математическая модель разрабатывается с учетом физико-химических закономерностей протекающих в реакторе процессов). Также программный продукт обладать такими свойствами, как системность и универсальность, а именно, он должен разрабатываться как единая компьютерная моделирующая система, содержащая базу данных, базу знаний, пакет прикладных программ. При этом интерфейс программы должен быть информативным и удобным для использования пользователем.

Для процесса каталитической депарафинизации разработана компьютерная моделирующая система, отвечающая указанным требованиям.

Разработанная система состоит из нескольких функциональных блоков:

1) база данных, содержащая информацию по свойствам потоков (плотность, молекулярная масса и т.д.), составу сырья, ВСГ и продукта,

термодинамическим характеристикам реакций (тепловой эффект реакций, изменение энергии Гиббса при протекании реакций), кинетическим параметрам реакций (предэкспоненциальные множители в уравнении Аррениуса, энергии активаций реакций, константы скоростей прямых и обратных реакций);

2) экспертная база знаний;

3) программа, реализующая численный метод решения системы уравнений, математической модели процесса.

При использовании программного продукта, пользователь взаимодействует с программой через интерфейс, вводит исходные данные, выбирает тип расчета. При осуществлении расчетов реализуется алгоритм решения системы уравнений кинетической модели процесса. Параметры модели (численные характеристики потоков и реакций) считываются из базы данных. На рисунке 2.3 представлено схематическое изображение взаимодействия между пользователем и создателем модели на этапах ее разработки и апробации [24].

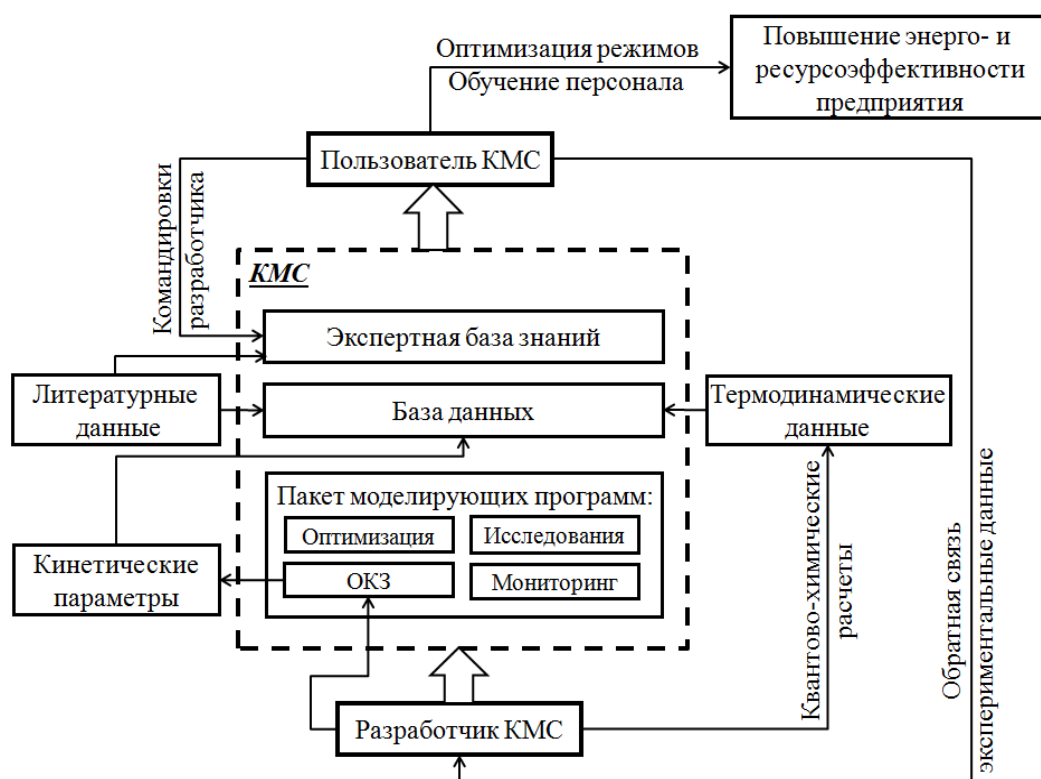


Рисунок 2.3 – Взаимодействие пользователя программного продукта и разработчика

Интеллектуальная моделирующая система, разработанная для процесса каталитической депарафинизации, основана на математическом описании физико-химических процессов, протекающих в реакторе.

Программная моделирующая система осуществлена с применением среды программирования Delphi 7. Данная система имеет ряд преимуществ, таких как: быстрота разработки приложений, высокая производительность разрабатываемых приложений, низкие требования разрабатываемых приложений к ресурсам компьютера, а так же хорошая проработка иерархии объектов, присущая языку программирования ObjectPascal, реализованного в среде Delphi 7 и , конечно, доступность большого количества визуальных компонентов и удобство работы с базой данных.

Главное окно разработанной моделирующей системы и окно редактирования характеристик реакций представлено на рисунке 2.4.

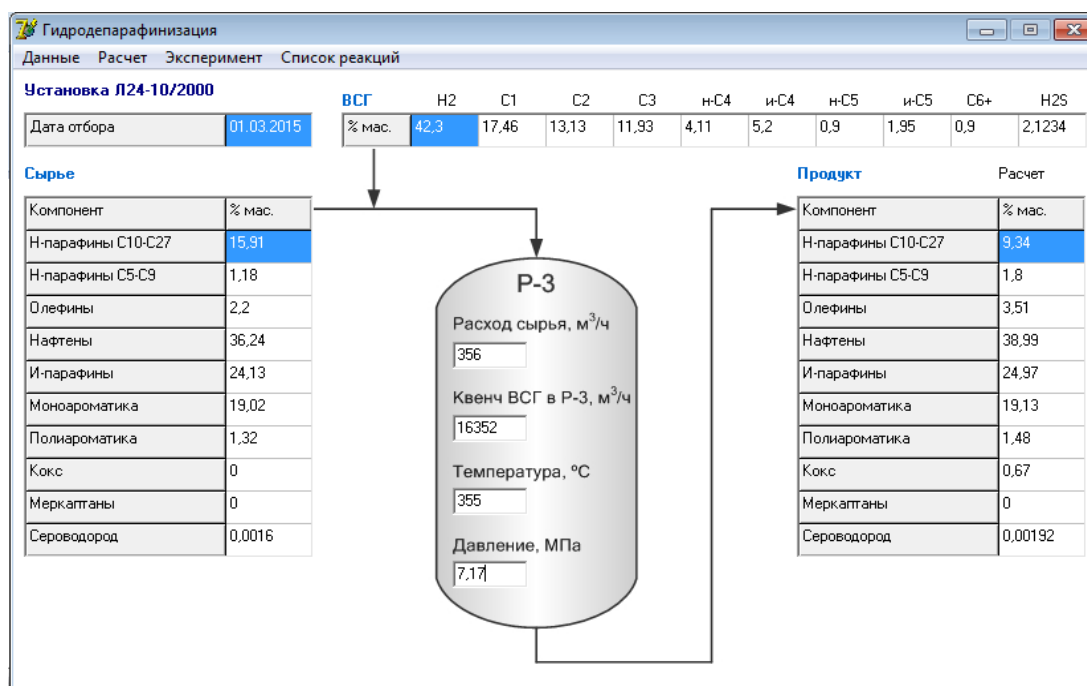


Рисунок 2.4 – Главное окно компьютерной моделирующей системы каталитической депарафинизации

Разработанная компьютерная моделирующая система процесса каталитической депарафинизации позволяет проводить оценку и уточнение кинетических параметров модели реактора, проводить исследования по влиянию различных технологических параметров на эффективность процесса (в

том числе, с целью обучения производственного персонала), осуществлять оптимизацию технологических режимов работы реактора при различном составе сырья.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

ВКР направлена на повышение эффективности работы промышленной установки каталитической депарафинизации за счет применения оптимальных режимов ведения процесса в зависимости от состава сырья и активности катализатора с применением метода математического моделирования.

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.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [27] .

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

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. На рисунке 5.1 представлена карта сегментирования рынка по виду оказываемой услуги с применением математической модели процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива.



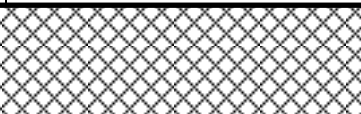



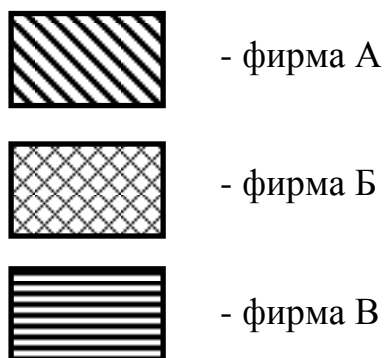
Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа тренировочной версии
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Мелкие НПЗ			
Образовательные учреждения			
Проектные организации			

Рисунок 5.1– Карта сегментирования



На Рисунке 5.1 показано, какие ниши на рынке услуг по применению математической модели не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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

В таблице 5.1 представлен сравнительный анализ математической модели (Д), разработанной в рамках выполнения ВКР и двух конкурентных моделей (К1) [25] и (К2) [26], выполненных в 2016 и 2017 годах соответственно.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{К1}	Б _{К2}	Б _Д	К _{К1}	К _{К2}	К _Д
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение эксплуатационных свойств ДТ	0,10	2	2	5	0,18	0,18	0,45
Удобство в эксплуатации	0,14	3	3	5	0,21	0,21	0,35
Надежность	0,13	4	4	5	0,28	0,28	0,35
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,2	3	2	5	0,6	0,4	1
Уровень проникновения на рынок	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
Цена	0,08	3	4	5	0,24	0,32	0,4
Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
Послепродажное обслуживание	0,07	5	2	5	0,35	0,14	0,35
Финансирование научной разработки	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
Срок выхода на рынок	0,05	3	3	5	0,15	0,15	0,25
Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1	51	46	63	3,73	3,23	4,9

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [27]:

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

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.

5.1.3 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 5.2.

Таблица 5.2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Оптимизация процесса каталитической депарафинизации дизельного топлива С2. Эффективное использование топливно - энергетических ресурсов С3. Проводить необходимые исследования без вмешательства в работу С4. Отсутствие аналогичных математических моделей по процессу С5. Чувствительность к изменению состава сырья</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Ограниченность экспериментальных данных с промышленной установки Сл2. Отсутствие учета в модели реакции коксообразования и нагароотложения на катализаторе Сл3. Отсутствие экспериментальных образцов для проведения анализа</p>
--	--	--

Продолжение таблицы 5.2

<p>Возможности: В1. Внедрение разработанной модели на предприятия нефтепереработки для оптимизации процесса производства дизельных топлив. В2. Внедрение разработанной модели на производство для отработки действий персонала. В3. Внедрение системы в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения студентов. В4. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В5. Внедрение на Российский НПЗ процесса гидродепарафинизации и соответственно повышение спроса на разрабатываемый продукт.</p>	<p>Сильные стороны и возможности: Разработка математической модели процесса каталитической депарафинизации на основании физико-химических свойств процесса с учетом реакционной способности углеводородов, участвующих в реакциях</p>	<p>Слабые стороны и возможности: 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.</p>
<p>Угрозы: У1. Создание подобной модели на рынке в более быстрые сроки У2. Внедрение других моделей на предприятия отечественных НПЗ У3. Отсутствие спроса, не заинтересованность предприятий по внедрению инновационного проекта</p>	<p>Сильные стороны и угрозы: 1. Продвижение новой технологии оптимизации процесса с применением математической модели. 2. Развитие конкурентной среды. 3. Введение в модель чувствительности к составу сырья и создание базы катализаторов</p>	<p>Слабые стороны и угрозы: 1. Разработка научного исследования 2. Повышение квалификации кадров у потребителя 3. Приобретение необходимых экспериментальных данных по составу сырья и продукта с промышленной установки 4. Приобретение необходимого оборудования опытного образца</p>

По результатам исследования 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.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В таблице 5.3 составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 5.3 - 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	Бакалавр
	6	Разработка кинетической модели	Бакалавр, руководитель
	7	Проверка модели на адекватность	Руководитель
	8	Расчет разработанной математической модели	Бакалавр
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	10	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	12	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

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемая трудоемкость рассчитывается [27]:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{maxi}}}{5} \quad (2)$$

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.

Ожидаемая трудоемкость для этапов работы приведенных в таблице 5.3 рассчитывается по формуле (2):

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

Для этапов 2 – 14 расчет аналогичен.

Продолжительность каждой работы в рабочих днях [27]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (3)$$

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 5.3 рассчитывается по формуле (3) [27]:

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

Календарный план проекта представлен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Изучение литературы, составление литературного обзора	42	08.01	19.02	Усманова Екатерина Фаритовна
Исследование в лаборатории	22	05.03	26.03	Усманова Екатерина Фаритовна
Обсуждение полученных результатов	14	27.03	09.04	Усманова Екатерина Фаритовна, Белинская Наталия Сергеевна
Оформление выводов	19	12.04	30.04	Усманова Екатерина Фаритовна
Оформление пояснительной записки	23	03.05	25.05	Усманова Екатерина Фаритовна
Итого:	120	08.01	25.05	

5.2.3 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (5)$$

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 120} = 1,49$$

Продолжительность выполнения каждого этапа работы приведена в таблице 4.4 рассчитывается по формуле (4).

$$T_{k1} = 1,4 \cdot 1,49 = 2,09 = 2$$

На основе таблицы 5.4 строится календарный план-график, представленный в таблице 5.5

Таблица 5.5 - Календарный план-график проведения НИ ОКР по теме

№ раб	Вид работ	Исполнители	Т _{гр}	Продолжительность выполнения работ													
				февраль		март			апрель			май			июнь		
1	Поставка	Руководитель	4	+													
2	Получение исходных данных	Бакалавр	4	+													
3	Изучение литературы	Бакалавр	28	+	+	+											
4	Составление программы расчета	Бакалавр	21		+	+	+			+	+						
5	Изучение принципа работы лабораторной установки	Бакалавр	4		+												
6	Подготовка установки к работе	Бакалавр	11		+	+	+			+	+						
7	Проведение эксперимента	Бакалавр	24		+	+	+			+	+						
8	Мониторинг полученных данных	Бакалавр	11		+	+	+			+	+						
9	Обсуждение результата	Руководитель, бакалавр	11		+	+	+			+	+						
10	Оформление отчета	Бакалавр	31										+	+	+	+	
11	Проверка работы руководителем	Руководитель	6														+
Итого			119														

5.3 Бюджет научно-технического исследования

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

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

- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

5.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [27]:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} \quad (6)$$

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

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного 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 (принимается в пределах 15-25% от стоимости материалов).

Материальные затраты на требующиеся аппараты и приспособления представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6– Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед. с НДС, руб.			Затраты на материалы, (Z _м), руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Основное оборудование	шт.	2	2	2	1037700	1037700	1037700	1037700		
Образцы дизельного топлива	литр	2	4	6	37	37	37	74	148	222
ПГС водород 40%	баллон	1	2	3	2430	2430	2430	2430	4860	7290
Итого	Исполнение 1			Исполнение 2			Исполнение 3			
	1040204 руб.			1042708 руб.			1045212 руб.			

5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Расчет затрат на приобретение программного обеспечения (ПО) для обработки результатов и построения математической модели каталитической депарафинизации представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Расчеты затрат на приобретение ПО

Наименование ПО			Стоимость ПО с НДС, руб.		
Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Microsoft Office	Microsoft Office	Microsoft Office	2900	2900	2900
-	Delphi	Delphi	-	43800	43800
Gaussian	Gaussian	Gaussian	35700	35700	35700
Итого:			38600	82400	82400

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Расчет 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	22	1,08	23,76
2	Теоретические и экспериментальные исследования, расчет на разработанной модели, оформление отчет в по НИР	Бакалавр	44	0,411	18,08
Итого:					41,84

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (7)$$

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 [27]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (8)$$

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 [27]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

В формуле (9) Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

F_d - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней: - выходные дни - праздничные дни	119	119
Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	92	92
Действительный годовой фонд рабочего времени	155	155

Месячный должностной оклад работника [27]:

$$Z_m = Z_b \cdot k_p, \quad (10)$$

где Z_b – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведён в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$,руб.
Руководитель	23760	1,3	30888	2231,9	155	345944,5
Бакалавр	18080	1,3	23504	1698,4	155	263252

5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы [27]:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (11)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты (15% от $Z_{\text{осн}}$);

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Результаты расчета в таблице 5.10.

5.3.5 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:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (12)$$

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

На основании пункта 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году водится пониженная ставка – 30% [27].

Результаты расчета в таблице 5.10.

5.3.6 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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) * k_{\text{нр}} \quad (13)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Результаты расчета в таблице 5.10.

5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [27].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Расчет бюджета затрат на научно-исследовательский проект

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НИИ	1040204	1042708	1045212
2. Затраты на специальное оборудование	38600	82400	82400
3. Затраты по основной ЗП исполнителей	54392	54392	54392
4. Затраты по дополнительной ЗП исполнителей темы	8158,8	8158,8	8158,8
5. Отчисления во внебюджетные фонды	18765	18765	18765
6. Накладные расходы	185619,2	193027,8	193428,5
7. Бюджет затрат НИИ	1345739	1399451,6	1402356,3

Как видно из таблицы 5.11 основные затраты НТИ приходится на материальные затраты, включающие покупку дорогостоящего оборудования и приспособления для его работы.

5.4 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 по формуле [27]:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (14),$$

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

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

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

$$I_{\text{ф}}^{\text{исп}1} = 1345739/1402356,3 = 0,95$$

$$I_{\text{ф}}^{\text{исп}2} = 1399451,6/1402356,3 = 0,99$$

$$I_{\text{ф}}^{\text{исп}3} = 1402356,3 / 1402356,3 = 1$$

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 5.12.

Таблица 5.12 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту эксплуатационных свойств ДТ	0,35	4	4	5
2. Удобство в эксплуатации	0,40	2	4	5
3. Надежность	0,25	3	4	4
ИТОГО	1			

$$I_{p-исп1} = 0,35 * 4 + 0,40 * 2 + 0,25 * 3 = 3,0$$

$$I_{p-исп2} = 0,35 * 4 + 0,40 * 4 + 0,25 * 4 = 4,0$$

$$I_{p-исп3} = 0,35 * 5 + 0,40 * 5 + 0,25 * 4 = 4,8$$

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}} \quad (15)$$

$$I_{исп1} = 3,0 / 0,95 = 2,9$$

$$I_{исп2} = 4,0 / 0,99 = 4,0$$

$$I_{исп3} = 4,8 / 1,00 = 4,8$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}) [27]:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (16)$$

Таблица 5.13 - Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Интегральный финансовый показатель разработки	0,95	0,99	1,00
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,0	4,0	4,8
Интегральный показатель эффективности	2,9	4,0	4,8
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,60	0,83	1

Из результатов таблицы 5.13 можно сделать вывод, что лучшим исполнением научно-технического исследования является исполнение 3, так как в данном исполнении лучшее обеспечение материалами и оборудованием, следовательно, достигается наибольшая эффективность проделанной работы. В результате проведенной работы была спроектирована и создана конкурентоспособная разработка, отвечающая современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

6 Социальная ответственность

Процесс каталитической депарафинизации дизельных топлив относится к процессам нефтеперерабатывающей отрасли. Нефтеперерабатывающая отрасль отличается большим разнообразием технологических процессов, осуществляемых с использованием широкого спектра технологий, различных катализаторов, реагентов и вспомогательных веществ. Это приводит к необходимости создания большого количества специальных технологий и технических приемов, позволяющих уменьшить или нивелировать влияние процессов нефтепереработки на окружающую среду, снизить количество вредных выбросов. Чем больше различных технологических процессов используется на предприятии, тем большее количество наилучших доступных технологий в области уменьшения вредного воздействия не только на организм человека, но и в целом на экологию.

Для целей настоящего Федерального закона [28] используется следующее основное понятие охраны труда, как системы, сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия. Законодательство Российской Федерации об охране труда основывается на Конституции Российской Федерации и состоит из настоящего Федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, а также законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации [28].

6.1 Профессиональная социальная безопасность

Любое производство, даже если в рамках него не задействованы опасные производственные объекты, должно считаться с требованиями промышленной безопасности. В первую очередь, очевидно, это связано с

вероятностью нанесения существенного ущерба предприятию из-за аварии или иного несчастного случая. Во-вторых, аварии сопровождаются серьезными человеческими жертвами или травмами. Наконец, даже небольшая поломка или инцидент на производстве способен остановить его на неопределенный срок. Исходя из чего, вопрос производственной безопасности следует считать актуальным, а вопрос построения системы управления промышленной безопасностью – своевременным.

Производственная безопасность – это совокупность тех или иных действий, цель которых – предотвращение или сведение к минимуму последствий техногенных аварий на различных производственных объектах с повышенной аварийностью. Промышленная безопасность может быть обеспечена посредством контроля производственного процесса.

Адекватно функционирующая система управления производственной безопасностью позволит в качественном и количественном формате вести процессы контроля и управления производственным процессом на заводе, предотвращая аварии и техногенные катастрофы на предприятии, в результате чего будет не только положительный экономический, но и серьезный социальный эффект, выраженный в сохраненных человеческих жизнях, в сохраненных квалифицированных и адаптированных к деятельности завода кадрах.

Санитарные правила устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы, периодов года и содержат требования к методам измерения и контроля микроклиматических условий.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Персоналу, работающему на НПЗ, приходится сталкиваться с такими воздействиями на организм как: сильный ветер, перепад температур при воздействии солнечной радиации, влажность и т.д.

Допустимые нормы для нефтеперерабатывающего завода, соответствующие СанПиН 2.2.4.548–96 [29].

Производственное освещение:

Рациональное освещение производственных помещений и территории НПЗ имеет большое санитарно-гигиеническое значение и способствует правильной организации труда. Естественный солнечный свет характеризуется большой интенсивностью и равномерностью освещения, и создает наилучшие условия для работы. В темное время суток территория НПЗ освещается прожекторами. В связи с тем, что условия деятельности НПЗ имеет непрерывный характер работы, особенно важным становится вопрос производственного освещения. Поэтому в производственных помещениях используется искусственное освещение.

Для искусственного освещения используют светильники с люминесцентными лампами ЛБ - белого цвета или ЛТБ - тепло-белого цвета, мощностью 20, 40, 80 Вт.

Согласно действующим санитарным нормам и правилам СНиП 23-05-95 [30], для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест, а для естественного и совмещенного - коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Производственный шум:

Работа установки каталитической депарафинизации сопровождается шумом, источником которого являются электродвигатели, насосы, трубопроводы.

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создает предпосылки для общих и профессиональных заболеваний, и производственного травматизма, а также приводит к ослаблению памяти, внимания, нарушению артериального давления и ритма сердца. Уровни шума не превышают значений, установленных в ГОСТ 12.1.003 – 83 [31].

Вибрации:

Эксплуатация современных машин и оборудования сопровождается значительным уровнем виброакустических факторов. Источниками вибрации в жилых и общественных зданиях являются инженерное и санитарно-техническое оборудование, а также промышленные установки и транспорт, создающие при работе большие динамические нагрузки, которые вызывают распространение вибрации в грунте и строительных конструкциях зданий. Вибрации часто являются также причиной возникновения шума в помещениях зданий.

В ГОСТ 12.1.012-90 [32] представлены предельно допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий, установленные санитарными нормами.

Техника безопасности при работе с оборудованием:

Основными требованиями безопасности, предъявляемыми к конструкции машин и механизмов, являются: безопасность для здоровья и жизни человека, надежность, удобство эксплуатации. Общие требования безопасности к производственному оборудованию установлены ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ [33]. Их выполнение делает машины и механизмы безопасными не только при эксплуатации, но и при монтаже, ремонте,

транспортировании и хранении. Согласно этому стандарту безопасность производственного оборудования должна обеспечиваться:

- выбором принципов действия, конструктивных схем, безопасных элементов конструкции и т. п.;
- применением в конструкции средств механизации, автоматизации и дистанционного управления;
- применением в конструкции средств защиты;
- выполнением эргономических требований;
- включением требований безопасности в техническую документацию по монтажу, эксплуатации, ремонту, транспортированию и хранению;
- применением в конструкции соответствующих материалов.

Основными причинами воздействия тока на человека являются: случайные проникновения или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции и другие.

Поражающее действие электрического тока зависит от значения и длительности протекания тока через тело человека, рода и частоты тока, места протекания тока, индивидуальных свойств человека. Наиболее опасным для человека является переменный ток с частотой 20 – 100 Гц. Опасной величиной тока является ток, равный 0,001 А, а смертельный 0,1 А. Также исход электропоражения зависит от состояния внешней среды. Могут быть следующие виды воздействий:

- термическое (ожог);
- электрическое;
- механическое (электрометаллизация);
- биологическое (паралич мышц, электрический удар).

Устанавливает предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений и токов ГОСТ 12.1.038-82 [34]. Мероприятия по защите от поражения электрическим током – защитное заземление.

Технологические процессы установки каталитической депарафинизации относятся к числу взрывоопасных и пожароопасных.

Продуктами, определяющими взрывоопасность данной установки, являются легковоспламеняющиеся углеводороды, водород и потоки, содержащие сероводород.

По взрывопожарной опасности установка относится к категории «А».

Наиболее опасными на установке являются места, где взрывопожароопасные и токсичные вещества находятся при избыточном давлении и повышенной температуре, а также места, где возможно скопление сероводорода и углеводородных газов:

- узлы отбора газообразных проб для лабораторного анализа;
- помещение насосной;
- постаменты;
- колодцы промканализации и оборотного водоснабжения

На всей территории завода установлены газосигнализаторы, которые при достижении концентрации взрывоопасного вещества в воздухе помещения до 20 % от нижнего предела взрываемости, сигнализатор срабатывает.

6.2 Экологическая безопасность

Экологические проблемы НПЗ обусловлены тем, что эти промышленные объекты состоят из большого числа процессов, связанных огромными количествами сырья и готовой продукции, они также являются интенсивными потребителями энергии и воды, используемыми в ходе выполнения процесса. При операциях хранения сырья и продукции, в процессах переработки на НПЗ происходит воздействие на атмосферу, воду и почву. Изменения в составе нефти могут влиять на состав выбросов, сбросов и отходов процессов нефтепереработки. Это влияние считается незначительным, так как большинство технологических процессов рассчитаны на эти колебания в составе нефтеперерабатываемых материальных потоков.

Процессы нефтепереработки требуют больших затрат энергии; обычно более 60 % выбросов в атмосферу НПЗ связано с производством энергии для различных процессов. Замена катализаторов и коксование приводит к выбросу твердых частиц. Летучие органические соединения (ЛОС) выделяются при хранении и перевалки нефтепродуктов, очистными сооружениями заводов; выделяются также неорганизованные выбросы от фланцев, клапанов, уплотнений и дренажных отверстий. Другие выбросы в атмосферу: H_2S (сероводород), NH_3 (аммиак), БТК (бензол-толуол-ксилол), CS_2 (сероуглерод), COS (сульфид карбонила), HF (фтороводород) и металлы (V, Ni и другие) в качестве компонентов твердых частиц в выбросах.

НПЗ производит различные потоки сточных вод, содержащие растворимые и нерастворимые вещества, которые становятся загрязнителями при сбросе в окружающую среду. Технологии очистки сточных вод направлены на сокращение количества загрязняющих веществ перед сбросом в водоемы или рельеф.

Основные характеристики загрязняющих веществ включают:

- общее содержание нефтепродуктов;
- биохимическую потребность в кислороде (БПК);
- химическую потребность в кислороде (ХПК);
- аммиачный азот, общее содержание азота;
- общее содержание взвешенных частиц;
- содержание ионов металлов;
- общий органический углерод;
- фенолы;
- фосфаты;
- сульфиды и другие микрозагрязнители.

Методы очистки сточных вод НПЗ – это разработанные технологии, поэтому в настоящее время акцент сместился на предотвращение и сокращение загрязненных потоков сточных вод, направляемых на установки доочистки.

Отходы НПЗ обычно охватывают три категории материалов:

- шламы, как нефтяные (например, осадок резервуаров), так и не нефтяные (например, из очистных сооружений);

- другие отходы НПЗ, включающие различные жидкие, полужидкие или твердые отходы (например, загрязнение почвы, отработанные катализаторы процессов конверсии, нефтяные отходы, зола установок сжигания, отработанная щелочь, отработанная глина, отработанные химические вещества, кислый гудрон);

- отходы не нефтепереработки, например, бытовые отходы строительства и сноса.

Для всех этих категорий отходов возрастает доля привлечения подрядчиков для очистки и удаления за пределами площадки.

Охрана окружающей среды – комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на природу.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация, согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 [35], обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

К основным видам аварий, происходящих на НПЗ, относятся:

- механические повреждения оборудования, сооружений, конструкций;
- разливы нефти;
- взрывы, пожары;
- химическое заражение;
- стихийные бедствия, природные явления.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно статье 15 «Обязанности работника в области охраны труда» Федерального закона [28] работник обязан:

- соблюдать требования охраны труда;
- правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты;
- проходить обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, инструктаж по охране труда, стажировку на рабочем месте и проверку знаний требований охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, происшедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе о проявлении признаков острого профессионального заболевания (отравления);
- проходить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) медицинские осмотры (обследования).

Заключение

Обзор источников литературы показал, что дизельное топливо является важнейшим и востребованным продуктом нефтеперерабатывающей промышленности. Вместе с тем, в последние годы существует тенденция внедрения на нефтеперерабатывающие заводы современного процесса производства дизельного топлива зимних и арктических марок – каталитической депарафинизации – взамен некаталитических способов.

С использованием математической модели процесса каталитической депарафинизации и компьютерной моделирующей системы, содержащей данную модель, было изучено влияние температуры, состава сырья, активность катализатора на результаты процесса каталитической депарафинизации.

Таким образом, выявлено, что качество и выход целевого продукта в процессе каталитической депарафинизации в значительной степени определяется температурным режимом в реакторе. Это обусловлено тем, что целевая реакция гидрокрекинга *n*-парафинов ускоряется при увеличении температуры, что приводит к повышению конверсии длинноцепочечных *n*-парафинов и уменьшению их содержания в продукте, а, соответственно, улучшению ПТФ. Но при этом наблюдается снижение выхода целевого продукта (ДТ) вследствие вторичного гидрокрекинга короткоцепочечных *n*-парафинов, образовавшихся в результате гидрокрекинга длинноцепочечных *n*-парафинов, с получением углеводородов бензиновой фракции, повышением ее выхода и снижением выхода дизельной фракции.

Проведенные исследования позволили выявить, что процесс не является стационарным за счет постоянного изменения состава сырья и активности катализатора. Данные факторы нестационарности оказывают значительное влияние на ПТФ и выход целевого продукта (ДТ). Поэтому в условиях постоянно меняющегося состава сырья и активности катализатора на установке каталитической депарафинизации необходимо поддерживать такие технологические режимы, которые обеспечивают получение продукта

требуемого качества с высоким выходом и минимальными затратами. Определение оптимальных режимов, возможно, оперативно производить, применяя математическую модель процесса.

Так же проведена оптимизация процесса в зависимости от состава сырья и активности катализатора. Была подобрана оптимальная температура для двух составов сырья для производства ДТ зимней марки, класс 1 согласно ГОСТ 32511-2013 (ПТФ = минус 26 °С).

Таким образом, для получения ДТ с ПТФ минус 26 °С температура процесса депарафинизации варьируется от 356,4 °С до 374,3 °С для сырья с более высоким содержанием н-парафинов, и от 330,4 °С до 344,3 °С для сырья с более низким содержанием н-парафинов.

Список используемых источников

1. Никитин А.А., Карасев Е.Н., Дутлов Э.В., Пискунов А.В., Борисанов Д.В. Разработка способа увеличения выпуска дизельного топлива зимнего в ОАО «Славнефть-ЯНОС» // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2015. – №9. – с. 14-17.
2. Гуляева Л.А., Шмелькова О.И., Хавкин В.А., Красильникова Л.А., Болдушевский Р.Э. Получение моторных топлив для холодных климатических условий при совместной переработке растительного и нефтяного сырья // Химия и технология топлив и масел. – 2016. – № 5. – С. 9-14.
3. Ранд С. Дж. Анализ нефтепродуктов. Методы, их назначение и определние: пер. с англ. 8-го изд. / под ред. Е.А. Новикова, Л.Г. Нехамкиной. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2012. – 664 с.
4. Митусова Т.Н., Лобашова М.М., Недайборщ А.С., Титаренко М.А. Производство арктического дизельного топлива в России // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2015. – №12. – с. 4-7.
5. Кукс И.В., Капустин В.М., Кузора И.Е., Цветков Д.А. ОАО «Ангарская НХК». Проектные решения для установки гидроочистки и изодепарафинизации дизельного топлива. Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2014. – № 1. – С. 36-37.
6. Митусова Т.Н., Хавкин В.А., Гуляева Л.А., Калинина М.В., Виноградов Н.Я. Современное состояние производства низкозастывающих дизельных топлив на заводах России / Мир нефтепродуктов.– 012. –№2. – с. 6-8.
7. Герасимов Д.Н., Фадеев В.В., Логинова А.Н., Лысенко С.В. Гидроизомеризация длинноцепочечных парафинов: механизм и катализаторы. Часть 1 // Катализ в промышленности. – 2015. – № 1. – С. 27-54.
8. Салихов А.И. Каталитическая гидродепарафинизация дизельного топлива и бензина на цеолит содержащих катализаторах: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.17.07 /

Уфимский государственный нефтяной технический университет; науч. рук. А.Ф. Ишкильдин. – Защищена 07.03.2003 г. – Уфа: 2003. – 124 с.

9. Дружинин О.А. Деструктивные гидрогенизационные процессы при получении низкозастывающих дизельных топлив диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук: спец. 05.17.07 / ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», ОАО «Ачинский НПЗ ВНК» ОАО «НК»Роснефть»; науч. рук. В.П. Твердохлебов. – Защищена 02.06.2009 г. – Красноярск: 2009. – 122 с.

10. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. Учебное пособие для вузов. – СПб.: Недра, 2013. – 544 с.

11. Бурюкин Ф.А., Косицына С.С., Савич С.А., Смирнова Е.В., Хандархаев С.В. Улучшение качества низкозастывающих дизельных топлив в процессе каталитической гидродепарафинизации // Известия Томского политехнического университета. – 2014.– Т. 325. – № 3. – С. 14-22.

12. Современные моторные топлива: учеб. пособие / Г.В. Тараканов; Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010. – 164 с.

13. ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

14. ГОСТ 55475-2013 Топливо Дизельное зимнее и арктическое депарафинизированное. Технические условия.–М.:Стандартинформ, 2013.–12 с.

15. Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту». – 2011.– 22 с.

16. Груданова А.И., Хавкин В.А., Гуляева Л.А., Сергиенко С.А., Красильникова Л.А., Мисько О.М. Перспективные процессы производства дизельных топлив для холодного и арктического климата с улучшенными экологическими и эксплуатационными характеристиками // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2013. – № 12. – С. 3-7.

17. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (ЭС-2030). Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

18. Францина Е.В., Афанасьева Д.А., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Белинская Н.С. Прогнозирование увеличения сырьевой базы процесса каталитической депарафинизации методом математического моделирования // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2017 – №. 3. – С. 33-41.

19. Киселева Т.П., Алиев Р.Р., Посохов О.М., Целютина М.И. Каталитическая депарафинизация: состояние и перспективы. Часть 1 // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – №1. – с. 3-8.

20. Капустин В.М., Рудин М.Г. Химия и технология переработки нефти. – М.: Химия, 2013. – 496 с.

21. Belinskaya N.S., Frantsina E.V., Ivanchina E.D. Mathematical modelling of «reactor - stabilizer column» system in catalytic dewaxing of straight run and heavy gasoils // Chemical Engineering Journal. – 2017 – Vol. 329. – p. 283-294.

22. Камешков А.В., Бурмистров С.Ю., Абрамова Л.В., Тишов Н.В., Симанова Т.А. Оптимизация производства различных видов зимнего дизельного топлива путем сочетания процесса депарафинизации и обработки депрессорно-диспергирующими присадками на базе ООО «КИНЕФ» // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – №3. – С. 22-26.

23. Камешков А.В., Федоров В.И., Семикин К.В. Влияние режима гидродепарафинизации на низкотемпературные свойства дизельной фракции. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. - №4. – С. 3-7.

24. Фетисова В.А. Повышение эффективности процесса алкилирования бензола высшими олефинами с использованием метода математического моделирования: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.17.08 / ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»; науч. рук. Э.Д. Иванчина. – Защищена 20.03.2012 г. – Томск: 2012. – 143 с.

25. Разработка формализованной схемы превращений углеводов и кинетической модели процесса гидродепарафинизации дизельных топлив./ Силко Г.Ю., Францина Е.В., Ивашкина Е.Н., Иванчина Э.Д., Белинская Н.С.// Известия Томского политехнического университета./ - 2013. –№ 3. – с. 129–133

26. Оптимизация технологического режима установки гидродепарафинизации дизельных топлив методом математического моделирования. /Белинская Н.С., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Силко Г.Ю., Францина Е.В.// Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2014 – Вып. 11. – с. 90-92

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

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

29. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Дата введения: 01.06.96. – 12 с.

30. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. Дата введения: 01.01.1996 – 36 с.

31. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. Дата введения: 01.11.2013 – 18 с.

32. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность. Дата введения: 01.07.91 – 31 с.

33. ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. Дата введения: 01.01.1976 – 11 с.

34. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. Дата введения: 01.11.1988 – 7 с.

35. ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
Термины и определения основных понятий. Дата введения: 01.01.1996 – 16 с.

