

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

Институт электронного обучения (ИнЭО)  
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология  
Профиль подготовки «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»  
Кафедра химической технологии топлива и химической кибернетики

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Расчет ректификационной установки производства легкого дизельного топлива с тарельчатыми контактными устройствами</b>

УДК 665.75.048.3.001.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д23	Хасанова Наталья Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТТ и ХК	Митянина Ольга Евгеньевна	К.Т.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ка- федры ме- неджмента	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Немцова Ольга Александровна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	К.Т.Н., доцент		

Томск – 2017 г

### Планируемые результаты обучения (ООП 18.03.01)

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

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

Институт электронного обучения (ИнЭО)  
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология  
 Профиль подготовки «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»  
 Кафедра химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Юрьев Е. М.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**бакалаврской работы**

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д23	Хасановой Наталье Александровне

Тема работы:

<b>Расчет ректификационной установки производства легкого дизельного топлива с тарельчатými контактными устройствами</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	<b>30. 01. 2017 г., № 496/с</b>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	<b>25 мая 2017 г.</b>
--	-----------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Состав сырья и продуктов колонны фракционирования нефти, нагрузка колонны по сырью, тип контактных устройств</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке;</i></p>	<p>Введение: основные продукты фракционирования нефти, область применения многокомпонентной ректификации в промышленности, актуальность совершенствования процессов разделения нефтяной смеси.                      ТЭО: области применения дизельного топлива.                      Теоретический раздел: физико-химические основы процесса фракционирования нефти, методы расчета и программные продукты;                      Аналитический обзор: типы современных установок разделения нефтяных смесей, характеристики товарно-</p>

<i>заключение по работе).</i>	го дизельного топлива, современные способы его получения; Постановка задачи исследования: оценка эффективности тарельчатой колонны для разделения нефтяной смеси; Экспериментальная часть: расчет тарельчатой колонны приближенными методами, определение основных параметров аппарата; Обсуждение результатов; Заключение; Список используемой литературы; Приложение: графическая часть.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Экспериментальные результаты: скриншоты расчета колонн в Microsoft Excel; Экономические расчеты
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Доцент кафедры менеджмента, к.э.н. Рыжакина Т.Г.
<b>Социальная ответственность</b>	Ассистент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Немцова О.А.
<b>Экспериментальная часть</b>	
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
_____	
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	<b>10.02 2017 г.</b>

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТТ и ХК	О.Е. Митянина	к.т.н		10.02.2017 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д23	Хасанова Наталья Александровна		10.02.2017 г.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Д23	Хасанова Наталья Александровна

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ХТТ и ХК</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	ХТПЭ и УМ

**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>Разработка двухколонной ректификационной установки получения легкого прямогонного дизельного топлива с тарельчатыми контактными устройствами с помощью приближенных методов расчета многокомпонентных смесей.</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 и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ.</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования.</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 НТИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>
5. <i>Сравнительная эффективность разработки</i>

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2Д23	Хасанова Наталья Александровна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 3-2Д23	ФИО Хасанова Наталья Александровна
------------------	---------------------------------------

Институт	ИнЭО	Кафедра	ХТТ и ХК
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	ХТПЭ и УМ

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: нефть, дизельное топливо Методика: многокомпонентная ректификация Рабочая зона: ректификационная установка Применение: для быстроходных двигателей
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>1. Анализ вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу;</li> <li>- Отклонение показателей микроклимата в помещении и на открытом воздухе;</li> <li>- Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>- Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте;</li> </ul> <p>2. Анализ опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Электробезопасность;</li> <li>- Пожарная безопасность.</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по</li> </ul>	<p>Загрязняющие вещества являются диоксид азота, окиси углерода, углеводороды, полная герметизация системы сбора и транспорта нефти и газа; стопроцентный контроль швов сварных соединений трубопроводов; защита оборудования от коррозии; частичная, а в перспективе полная утилизация попутного газа; оснащение предохранительными клапанами всей аппаратуры, в которой может возникнуть</p>

охране окружающей среды.	давление, превышающее расчетное; сброс нефтепродуктов с предохранительных клапанов в аварийные емкости или на факел; испытание оборудования на прочность и герметичность после монтажа; применение современного блочно-комплексного оборудования заводского изготовления.
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Наводнение; снежные заносы и обледенения; пожар; взрыв; <i>Меры по предупреждению ЧС:</i> пожарная безопасность; защитная одежда; вентиляция; вводный инструктаж по технике безопасности <i>Действия при ЧС</i> вызов пожарной службы; использование первичных средств тушения пожара: Огнетушители ОУ-1 и ОУ-2; Ящик с песком; Асбестовое одеяло Эвакуация</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Для обеспечения взрывопожаробезопасности сооружений в проекте предусмотрены следующие мероприятия: предусмотрено пожаротушение и паровая защита печей; все сооружения установки оснащены средствами первичного пожаротушения; для подъезда пожарной техники к взрывопожароопасным объектам предусмотрены кольцевые автодороги с твердым покрытием.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Немцова Ольга Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д23	Хасанова Наталья Александровна		

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская выпускная квалификационная работа содержит 96 страниц, 40 таблиц, 9 рисунков, 32 литературных источника, 2 приложения.

Цель работы – разработка двухколонной ректификационной установки производства легкого дизельного топлива с тарельчатыми контактными устройствами с помощью приближенных методов расчета многокомпонентных смесей.

Объектом исследования является: двухколонная установка получения легкого прямогонного дизельного топлива.

Метод исследования – метод математического моделирования.

Ключевые слова: товарная нефть, дизельное топливо, ректификация.



## **ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

ДТ - дизельное топливо

ДВС - двигатель внутреннего сгорания

ВКК – высококипящие компоненты

НКК – низкокипящие компоненты

ТГДС -температурная граница деления смеси

ГОСТ – государственный стандарт

НПЗ – нефтеперерабатывающий завод

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	13
1 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ .....	15
2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	20
2.1 Общие сведения о процессе ректификации .....	20
2.2 Основы расчета тарельчатых колонн .....	22
2.3 Типы контактных устройств в массообменных процессах.....	27
2.3.1 Конструкции контактных тарелок.....	28
2.4 Характеристики товарного дизельного топлива .....	32
2.4.1 Современные способы получения дизельного топлива .....	36
3 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	42
3.1 Объект исследования .....	42
3.2 Методы исследования .....	43
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....	45
4.1 Составы сырья и технологические режимы работы .....	45
4.2 Определение минимального числа тарелок .....	46
4.3 Определение минимального флегмового числа .....	46
4.4 Определение оптимального числа тарелок и флегмового числа .....	47
4.5 Расчет высоты и диаметра колонны .....	48
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	51
ВВЕДЕНИЕ .....	51
5.1 Производственная безопасность .....	52
5.1.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	52
5.1.2 Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу .....	52
5.1.3 Отклонение показателей микроклимата в помещении и на открытом воздухе .....	56
5.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	59
5.1.5 Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте .....	60
5.1.6 Электробезопасность .....	61
5.1.7 Расчет защитного заземления .....	61

5.1.8 Пожарная безопасность .....	62
5.2 Экологическая безопасность .....	64
5.2.1 Мероприятия по охране атмосферного воздуха от загрязнений .....	64
5.2.1.1 Загрязнение атмосферы .....	64
5.2.1.2 Загрязнение гидросферы .....	65
5.3 Чрезвычайная ситуация .....	65
5.3.1 Стихийные бедствия .....	65
5.3.2 Перечень основных мероприятий и мероприятий по обеспечению безопасной эксплуатации производства .....	66
<b>6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....</b>	<b>70</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>70</b>
6.1 Предпроектный анализ .....	70
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	70
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	70
6.1.3 SWOT-анализ .....	71
6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	73
6.2 Инициация проекта .....	74
6.2.1 Организационная структура проекта .....	75
6.2.2 Определение трудоемкости работ .....	76
6.2.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	76
6.2.4. Ограничения и допущения проекта .....	79
6.3 Планирование управления научно-техническим проектом .....	79
6.3.1 План проекта .....	79
6.3.2 Бюджет научного исследования .....	80
6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджет- ной, социальной и экономической эффективности исследования .....	86
6.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования .....	87
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>91</b>

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	96

## ВВЕДЕНИЕ

Нефть и нефтепродукты представляют собой такую сложную смесь углеводородов и неуглеводородных соединений, что обычными методами перегонки их невозможно разделить на индивидуальные соединения. Как правило, нефть и нефтепродукты разделяют путем перегонки на отдельные части, каждая из которых является менее сложной смесью. Такие части принято называть фракциями, или дистиллятами. Нефтяные фракции в отличие от индивидуальных соединений не имеют постоянной температуры кипения. Температуры начала и конца кипения зависят от химического состава фракции [12].

Таким образом, фракционный состав нефти и нефтепродуктов показывает содержание в них различных фракций, выкипающих в определенных температурных пределах.

Основные фракции, выделяемые из нефти на промышленной установке, следующие:

- бензиновая н.к. (28°C) - 180°C (без отбора керосиновой фракции) или н.к. (28°C) - 150°C (с отбором керосиновой фракции);

- керосиновая 150 - 250°C;

- дизельная (180°C) - 350°C (без отбора керосиновой фракции) или (250°C) - 350°C (с отбором керосиновой фракции). В ряде случаев отбирают дизельную фракцию утяжеленного фракционного состава с концом кипения 360°C.

Из остатка >350 (360°C) – мазут – получают вакуумный газойль 350 (360°C) – 500 (550°C) и гудрон >500 (>550°C) – самый тяжелый продукт перегонки нефти.

Фракционный состав является важным показателем качества нефти, определяет ее стоимость и позволяет выбрать наиболее оптимальный способ переработки нефти.

Основным технологическим процессом разделения смесей на фракции является ректификация, которая характеризуется большой энергоем-

костью, сложностью и металлоемкостью конструкций массообменных аппаратов.

Исследования процесса ректификации можно сгруппировать в следующих основных направлениях:

1) исследование фазовых равновесий (жидкость-пар);

2) исследование в области статики ректификации, направленные на улучшение термодинамических условий проведения процессов, разработку новых способов и схем ректификации, оптимизацию технологических режимов;

3) разработка математических моделей процессов массо- и теплообмена в ректификационном колонном оборудовании, направленные на повышение точности проектных решений; совершенствование массо- и теплообменного оборудования, направленное на интенсификацию и удешевление аппаратов для проведения процессов разделения.

Целью работы является разработка двухколонной ректификационной установки производства легкого дизельного топлива с тарельчатыми контактными устройствами с помощью приближенных методов расчета многокомпонентных смесей.

## 1.ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Дизельное топливо на современном этапе развития технологии представляет огромный спрос как сырье для ДВС и большого числа аппаратов и машин, работающих на дизельном топливе [32].

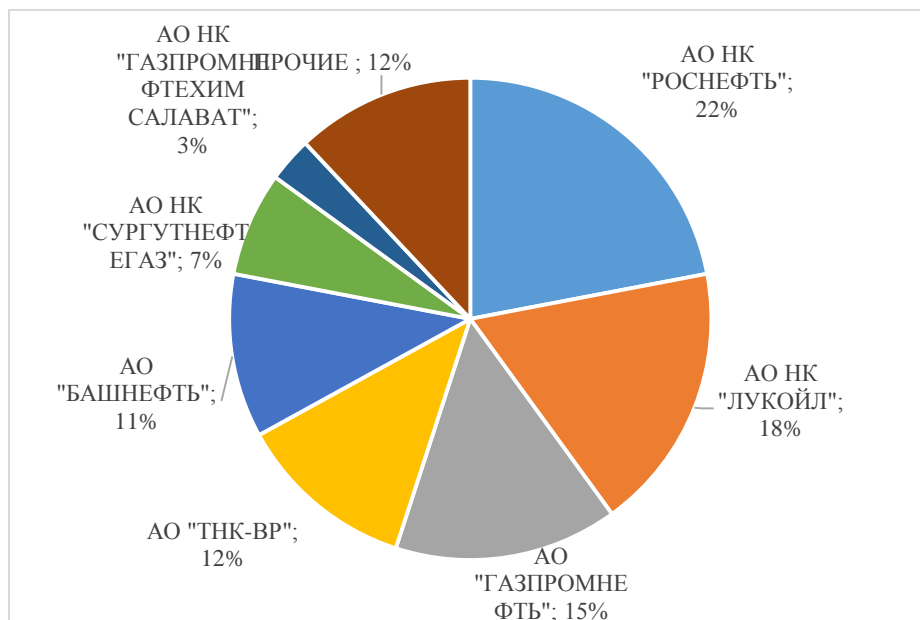


Рисунок 1- Структура производства дизельного топлива

Дизельное топливо, наряду с бензином и мазутом, представляет собой один из важнейших продуктов нефтепереработки. В настоящее время в мире ежегодно добывается около 4,5 млрд.т. нефти. Позитивным моментом для стабильности производства является отсутствие монополизма: более 240 предприятий занимаются добычей нефти в нашей стране, а более 95% всего объема добычи обеспечивают 11 нефтедобывающих холдингов. По итогам 2015 г. в России в эксплуатацию было введено 6.3 тыс. скважин, это на 3.7% больше, чем в 2014 г. Годовое производство дизельного топлива как показывают оперативные данные Федеральной службы государственной статистики, в январе-ноябре 2016 года выпуск ДТ в России составил 69,3 млн. тонн. Таким образом, по итогам всего 2016 года производство составит около 76,1 млн. тонн.

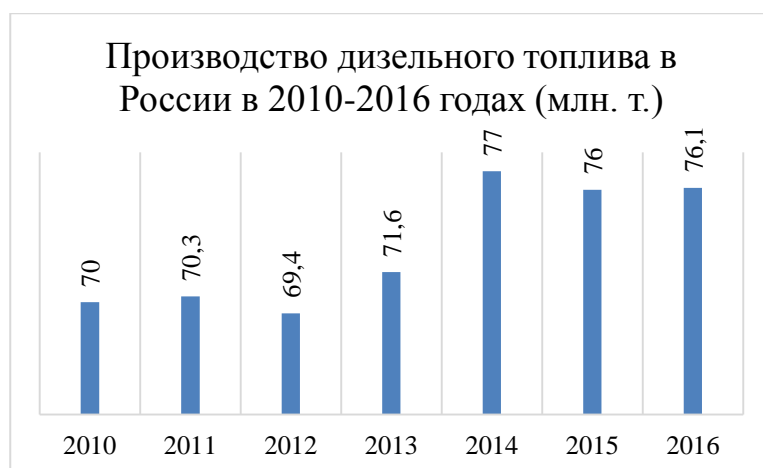


Рисунок 2 – Производство дизельного топлива в России

Впрочем, спрос на дизельные автомобили растет, и потому, что все больше российских потребителей понимают их преимущества перед бензиновыми автомобилями. Расход топлива у современных дизельных двигателей на 25-30% меньше, чем у бензиновых, с близкими характеристиками по объему и мощности. Кроме того, с экологической точки зрения дизельный мотор предпочтительнее бензинового, поскольку он создает меньше вредных выбросов в атмосферу.

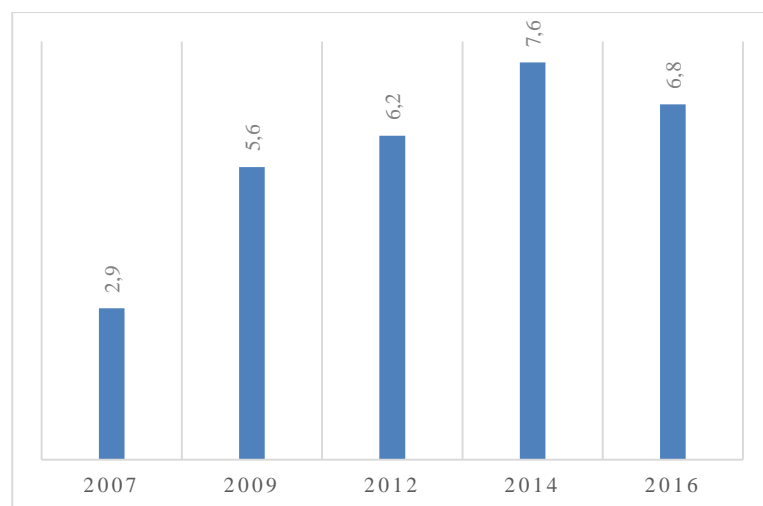


Рисунок 3 – Доля дизельных машин от объема продаж

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что в российских условиях потребитель часто видит в салоне дизельные модификации, которые стоят на 10-25% дороже более мощной и привычной бензиновой.



Дизельные двигатели применяются для привода стационарных силовых установок, на рельсовых (тепловозы, дизелевозы, дизель-поезда, автодрезины) и безрельсовых (автомобили, автобусы, грузовики) транспортных средствах, самоходных машинах и механизмах (тракторы, асфальтовые катки, скреперы и т. д.), а также в судостроении в качестве главных и вспомогательных двигателей.

Как видно из вышеуказанного, дизельные двигатели имеют широкий спектр использования в различных сферах и областях. Для многих транспортных средств, силовых установок и в качестве вспомогательного двигателя, дизельный двигатель является неотъемлемым элементом. Более того, в последние годы происходит рост популярности дизельных двигателей для легковых и грузовых автомобилей, не только из-за экономичности и долговечности дизеля, но также из-за меньшей токсичности выбросов в атмосферу.

А к возможным проблемам с выбором заправки сразу отмечается и более короткий межсервисный интервал дизеля, что делает его содержание гораздо накладнее. Исключение из правил составляют только те модификации, чей рабочий объем дизеля значительно меньше бензинового и позволяет значительно сэкономить на таможенной очистке и, как следствие, предложить более выгодную цену. Именно такие исключения объясняют постепенный рост спроса на дизельное топливо в России [7].

Дизельное топливо является одним из наиболее широко применяемых продуктов нефтеперерабатывающей промышленности. Дизельное топливо (устар. соляр, разг. солярка, соляра, соляриум) — жидкий продукт, использующийся как топливо в дизельном двигателе внутреннего сгорания. Обычно под этим термином понимают топливо, получающееся из керосиново-газойлевых фракций прямой перегонки нефти. Предназначены для быстроходных дизельных и газотурбинных двигателей наземной и судовой техники.

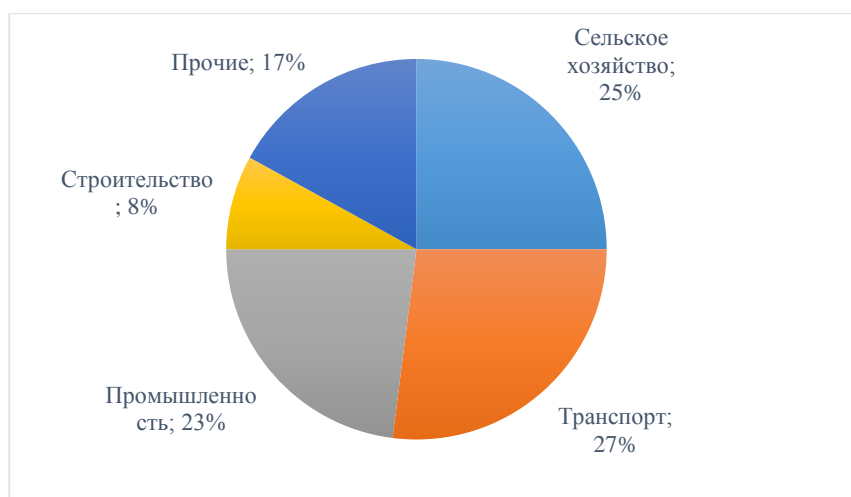


Рисунок 4 - Структура спроса на дизельное топливо

В последние годы наблюдается стабильное увеличение мирового спроса на дизельное топливо. В США потребление дизельного топлива увеличивается на 3,5-4% в год, в то время как продажа бензина - примерно на 2% в год. Потребление дизельного топлива в Индии, выросло более чем — на 7,5%. В Европе, где традиционно имеется спрос на дизельное топливо, достигает 55% легковых автомобилей с дизельными двигателями. В 2016 году в России было произведено 76 175,4 тыс. тонн дизельного топлива, за январь – апрель 2017 года производство выросло на 7,4%.

Повышенный спрос данного продукта обуславливает постоянную потребность в нем предприятий, частных лиц. В связи с этим основной задачей производителей дизельного топлива является увеличение объема выпуска, что в свою очередь подразумевает увеличение запасов исходного сырья.

Повышенный спрос данного продукта обуславливает постоянную потребность в нем предприятий, частных лиц. Средний расход горючего в дизельных двигателях на 25-30% ниже, чем в карбюраторных. Высокие показатели экономичности и надежности дизельных двигателей оправдывают их широкое применение, а это приводит к тому, что потребности мирового рынка в дизельном топливе исчисляются миллионами тонн в год. Такие объемы не только стимулируют увеличение объемов добычи первичного сырья для дизельного топлива - нефти, но и ускоряют развитие

технологической базы процесса её переработки. Производство дизельного топлива - крупный сектор нефтегазовой отрасли, характеризующийся высокой прибыльностью инвестиций и постоянно возрастающей потребностью в применении современных наукоемких технологий.

## **2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

### **2.1 Общие сведения о процессе ректификации**

Основным массообменным процессом в технологии переработки природных энергоносителей является ректификация. Энергоемкость ректификационных установок чрезвычайно высока, на их долю приходится до 80 % общего энергопотребления крупного производства [2]. В целом принципы многокомпонентной ректификации применимы к фракционированию нефти и нефтяных фракций, хотя и имеется ряд специфических особенностей, обусловленных следующими причинами [4]:

- нефть представляет собой смесь чрезвычайно сложного состава, состоит из большого числа углеводородов различных типов, а также ряда органических и неорганических соединений;

- количество углеродных атомов в молекулах может лежать в интервале от 1 до 50, поэтому вещества кипят при атмосферном давлении в интервале (30–600) °С;

- в узких температурных пределах может выкипать множество компонентов;

- продукты ректификации также представляют собой сложные смеси, характер и выход которых может варьироваться в широких пределах в зависимости от источника сырья;

- мощность установок фракционирования нефти, как правило, велика, и они включают нескольких видов ректификационных колонн: атмосферную перегонку нефти, вакуумную перегонку мазута, газофракционирующие установки и т.д.;

- установки состоят из большого количества единиц оборудования и потребляют большое количество энергии, поэтому оптимизация их проектирования и эксплуатации приводит к сложной конфигурации технологической схемы.

В нефтеперерабатывающей промышленности в основном применяют ректификационные колонны непрерывного действия. Различают про-

стые и сложные колонны. Простые колонны обеспечивают разделение сырья на два продукта: ректификат (дистиллят) – продукт, обогащенный НКК, и кубовый остаток – продукт, обогащенный ВКК.

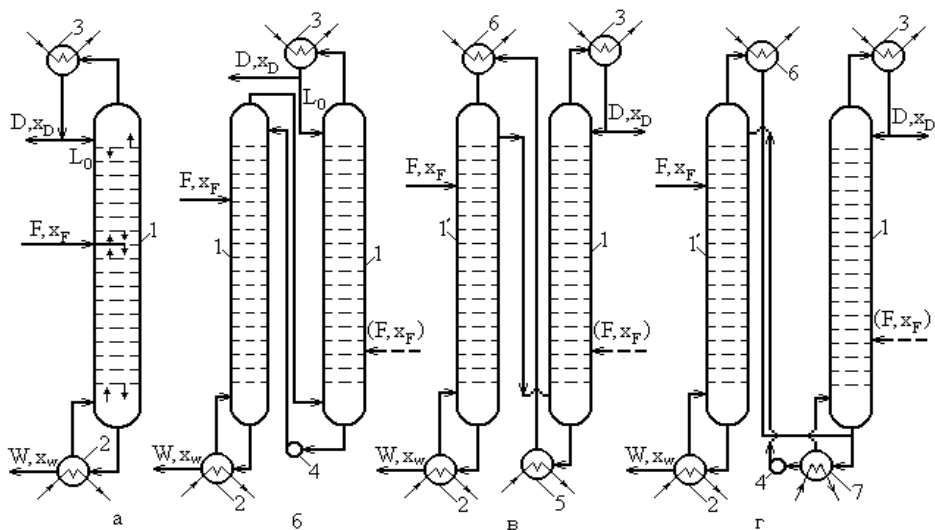


Рисунок 5 - Схемы простых ректификационных колонн

а – обычного исполнения; б – разрезная с перекачиванием промежуточной флегмы насосом; в – разрезная, в которой транспортировка флегмы осуществляется с помощью системы испаритель – конденсатор; г – разрезная с полной промежуточной конденсацией паров; 1, 1' – колонны; 2 – кипятильники (испарители); 3 – конденсаторы; 4 – насосы; 5 – промежуточный испаритель; 6 – промежуточный конденсатор; 7 – промежуточный кипятильник; пунктиром показан вариант ввода сырья.

Сложные ректификационные колонны разделяют исходную смесь более чем на два продукта.

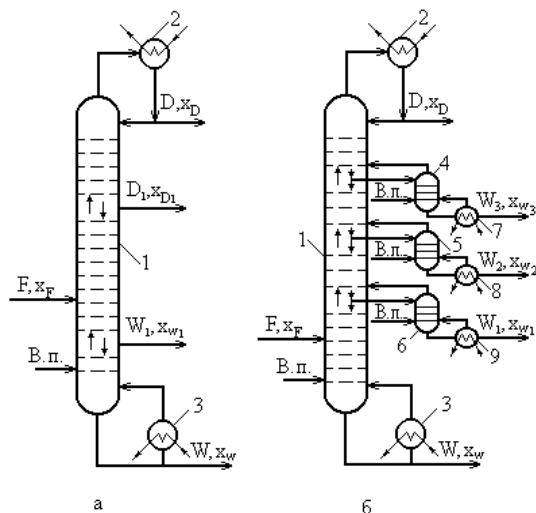


Рисунок 6 - Схемы сложных ректификационных колонн

а – с боковыми отборами дополнительных продуктов; б – с отбором дополнительных продуктов из стриппингов (отпарных колонн); 1 – основная колонна; 2 – конденсатор; 3 – основной кипятильник; 4–6 – отпарные колонны; 7–9 – вспомогательные кипятильники; В.п. – ввод водяного пара.

## 2.2 Основы расчета тарельчатых колонн

Для уменьшения трудностей, связанных с расчетами многокомпонентной ректификации, часто вводится понятие «ключевых компонентов». Последовательность технологического расчета многокомпонентной ректификации зависит от выбранного метода. Однако всегда сначала рассматриваются предельные случаи работы колонны: режим полного орошения (для определения минимального числа теоретических тарелок) и режим минимального орошения (для определения минимального флегмового числа). На этом этапе рассчитываются составы и расходы всех потоков в колонне, после чего определяется оптимальное число тарелок и оптимальное орошение.

Затем рассчитывается диаметр колонны и осуществляется выбор типа тарелок. На основании диаметра и типа тарелок принимается межтарельчатое расстояние, выбираются (или рассчитываются) крышка и днище и определяется высота аппарата. Затем рассчитывают диаметры и расположение патрубков, внутренние устройства, соединения частей колонны и изготавливаются чертежи аппарата [8, 11].

*Режим полного орошения.* Минимальное число тарелок колонны определяется обычно по уравнению Фенске-Андервуда:

$$N_{\min} = \frac{\lg\left(\frac{x_{iD} \cdot x_{kW}}{x_{iW} \cdot x_{kD}}\right)}{\lg\left(\frac{\alpha_i}{\alpha_k}\right)} \quad (1)$$

где  $i$  и  $k$  – любые два компонента смеси,  $\alpha$  – относительные летучести этих компонентов.

Из этого уравнения видно, что для определения минимального числа теоретических тарелок надо иметь данные о содержании двух компонентов

в продуктах разделения. В этом случае обычно расчет ведут по ключевым компонентам, концентрации которых в кубовом остатке и дистилляте задаются с учетом практической необходимости. Концентрации обоих компонентов должны быть отличны от нуля в каждом из продуктов разделения, причем, чем выше значения концентраций, тем точнее расчет. Это требование необходимо учитывать при выборе ключевых компонентов. Относительные летучести определяем как для идеального раствора, паровая фаза которого близка к идеальному газу. Это допущение уже было использовано ранее при расчете парциальных давлений узких фракций.

$$\alpha_i = \frac{P_i^0}{P_3^0} \quad \alpha_k = \frac{P_k^0}{P_3^0} \quad (2)$$

$P_i, P_k$  – давления насыщенных паров ключевых компонентов,  $i$  – индекс тяжелого ключевого компонента,  $k$  – индекс легкого ключевого компонента.  $P_3$  – давление насыщенных паров эталонного компонента.

Ориентировочное распределение каждого компонента исходной смеси между продуктами разделения можно рассчитать, используя понятие температурной границы деления смеси (ТГДС). Для решения этой задачи надо знать состав смеси или иметь кривую ИТК.

Предположим, что в дистиллят желательнее перевести максимум компонента  $k$ . Определим коэффициент обогащения по этому компоненту.

$$\Psi_k = \frac{x_{kD}}{x_{kW}} \quad (3)$$

Тогда доля отгона будет равна

$$\varepsilon = \frac{x_{iF} - x_{iW}}{x_{iD} - x_{iW}} \quad (4)$$

Допустим, что некоторый гипотетический компонент, присутствующий в смеси в бесконечно малом количестве, кипит при температуре границы деления смеси  $t$ . Очевидно, что летучесть этого условного

компонента равна единице, так как упругость его паров равна давлению смеси; равным единице можно считать и его коэффициент распределения.

Уравнение Фенске-Андервуда для любого компонента  $i$  тогда можно записать:

$$N_{\min} = \frac{\ln \frac{x_{iD}}{x_{iW}}}{\ln \alpha_{i,t}} = \frac{\ln \Psi_i}{\ln \alpha_{i,t}} = \frac{\ln \Psi_k}{\ln \alpha_{k,t}} \quad (5)$$

откуда,

$$\ln \Psi_i = \ln \Psi_k \left( \frac{\ln \alpha_{i,t}}{\ln \alpha_{k,t}} \right) \quad (6)$$

В уравнениях (5,6) – коэффициенты относительной летучести  $i$ -го и  $k$ -го компонентов при температуре  $t$ . Компоненты или фракции, температуры кипения которых при давлении в системе меньше  $t$ , будут преимущественно переходить в дистиллят, а компоненты или фракции с большими температурами кипения – в куб.

Решая совместно уравнения (3), (4) и (6), получим выражения для составов кубового остатка и дистиллята.

$$x_{iD} = \frac{x_{iF} \Psi_i}{1 + \varepsilon(\Psi_i - 1)} \quad (7)$$

$$x_{iW} = x_{iD} / \Psi_i \quad (8)$$

Методом последовательных приближений можно найти температуру  $t$ , удовлетворяющую уравнению

$$\sum_{i=1}^n x_{iD} = 1 \quad \sum_{i=1}^n x_{iW} = 1 \quad (9)$$

Использование понятия ТГДС позволяет задаваться содержанием в кубе и дистилляте только одного ключевого компонента, приняв в качестве второго псевдокомпонент с температурой кипения при давлении в колонне, равной ТГДС. Этот компонент поровну распределяется между кубом и дистиллятом.

Минимальное флегмовое число определяется по методу Андервуда.



При этом сначала находится промежуточная характеристическая величина  $\omega$  по уравнению

$$\sum_{i=1}^n \frac{\alpha_{i/v} x_{iF}}{\alpha_{i/v} - \omega} = \varepsilon \quad (10)$$

где  $\alpha_{i/v}$  – относительная летучесть по высококипящему ключевому компоненту;

$\varepsilon$  – доля отгона питания ректификационной колонны. Рекомендации по определению температуры ввода питания приведены ниже. После определения данной температуры необходимо рассчитать соответствующую ей долю отгона. Уравнение (10) решается методом последовательных приближений. Вычислив  $\varepsilon$ , находим минимальное флегмовое число из уравнения Андервуда

$$\sum_{i=1}^n \frac{\alpha_{i/v} x_{iD}}{\alpha_{i/v} - \omega} = R_{\min} \quad (11)$$

Относительные летучести компонентов определяются при средней температуре по колонне. Для расчета средней температуры необходимо определить температуры верха и низа колонны.

Примем давление на верху колонны на 0,01МПа ниже давления в зоне тарелки питания. Температуру Т<sub>верха</sub> колонны определяем итерациями по уравнению:

$$\sum_{i=1}^n y_{iD} / k_i = 1 \quad (12)$$

при фиксированном составе (12) и давлении. Давление низа колонны выше давления в зоне тарелки питания на суммарное гидравлическое сопротивление тарелок. Если с выбором тарелок пока не определились, можно принять его на 0,03 – 0,05МПа выше давления на верху колонны. Температуру Т<sub>низа</sub> низа колонны определяем итерациями по уравнению (13) при фиксированном составе куба и фиксированном давлении:

$$\sum_{i=1}^n k_i x_{iW} = 1 \quad (13)$$

Если полученная температура выше температуры питания и не предусмотрен обогрев куба, принимаем температуру куба равной температуре питания. В противном случае принимаем среднюю температуру по колонне и температуру питания примерно равными. Высококипящий ключевой компонент следует выбирать вблизи ТГДС, хотя можно проверить и все компоненты смеси.

Для определения тарелки питания используют уравнение Керкбрайда:

$$\frac{N_1}{N_2} = \left[ \frac{W}{D} \left( \frac{x_{iF} x_{kW}}{x_{iD} x_{kF}} \right)^2 \right]^{0,206} \quad (14)$$

где  $N_1, N_2$  – число тарелок укрепляющей и исчерпывающей частей колонны, соответственно;  $i$  – индекс тяжелого ключевого компонента,  $k$  – индекс легкого ключевого компонента.

Существует еще ряд довольно широко используемых методов расчета минимального орошения и минимального парового числа [8], например, метод инвариантных составов, который дает результаты, близкие к результатам, полученным методом Андервуда.

*Оптимальное число тарелок* рассчитывается по эмпирическому соотношению, связывающему оптимальное и минимальное число тарелок:

$$N_{opt} = 1,70N_{min} + 0,70 \quad (15)$$

*Оптимальное орошение* рассчитывается по эмпирическому уравнению, связывающему минимальное и оптимальное орошение:

$$R_{opt} = 1,35R_{min} + 0,35 \quad (16)$$

Находится истинное значение минимального флегмового числа, соответствующего заданному разделению рассматриваемой смеси:

$$R_{min} = \frac{x_{c-d,D} - y_{c-d,F}}{y_{c-d,F} - x_{c-d,F}} \cdot \frac{1}{z^+} \quad (17)$$

*Диаметр ректификационной колонны* определяется из уравнения расхода:

$$D_k = \sqrt{\frac{4V_0}{\pi w_0}} \quad (18)$$

$D_k$  – внутренний диаметр колонны, м;

$V_0$  – объемный расход пара в колонне, м<sup>3</sup>/с;

$w_0$  – допустимая скорость пара, м/с.

*Высоту тарельчатой части колоны определяем по уравнению:*

$$H = (N - 1) \cdot h + s \cdot N \quad (19)$$

где  $N$  – число тарелок;

$h$  – расстояние между тарелками, мм;

$s$  – толщина тарелки, мм.

### **2.3 Типы контактных устройств в массообменных процессах**

Высота колонны зависит от количества тарелок контакта, устанавливаемых в ней. В свою очередь число контактных устройств определяется как числом теоретических тарелок, найденным в результате расчетов, так и конструкцией контактного устройства, которая отражается на эффективности работы колонны.

Количество конструктивных разновидностей тарелок и насадок весьма велико. Разнообразие существующих контактных устройств колонн обусловлено поисками конструкций, обеспечивающих высокую интенсивность и эффективность массообмена, простоту изготовления и монтажа, а также низкое гидравлическое сопротивление. Поскольку возможности удовлетворения этих требований часто сопряжены с масштабом и характером производства, свойствами обрабатываемых смесей и рабочими режимами, то в одних случаях предпочтительнее определенные конструкции, а в других многие конструкции оказываются практически равноценными [4, 10, 11].

### 2.3.1 Конструкции контактных тарелок

Характеристика конструкций контактных тарелок представлена в виде таблицы 1 [4].

Таблица 1 – Характеристика конструкций контактных тарелок

Конструкция тарелки	Диаметр колонны, мм	Расстоян. между тарелками, мм	Сравнительная характеристика
Колпачковые тарелки с капсульными колпачками	400 и более	200 и более	Тарелки данного типа имеют большую эффективность, широкий рабочий диапазон* (более 4) и металлоемкость 60–90 кг/м <sup>3</sup> . Хотя такие тарелки сравнительно трудоемки в изготовлении и монтаже, но находят применение благодаря универсальности областей практического применения и неприхотливости в эксплуатации.
Тарелки колпачковые из S-образных элементов	1000 – 8000	450 и более	Металлоемкость тарелок 55–90 кг/м <sup>3</sup> , эффективность такая же, как у колпачковых капсульных тарелок, но производительность на 20–30 % выше. Рабочий диапазон нагрузок не превышает 2.5.
Клапанные прямоточные тарелки	1000 и более	450 и более	По сравнению с S-образными тарелками они позволяют повысить производительность колонн примерно на 20–25 %. Диапазон рабочих нагрузок более 4. В области саморегулируемой работы клапанов тарелки

			обладают относительно небольшим сопротивлением. Металлоемкость составляет 55 – 80 кг/м <sup>3</sup> .
Решетчатые тарелки провального типа	400 и более	200 и более	Производительность тарелок провального типа примерно в 1.8–2 раза больше, чем колпачковых, металлоемкость не превышает 40–50 кг/м <sup>3</sup> . По сравнению с колпачковыми эти тарелки имеют меньшую эффективность и более узкий рабочий диапазон, который в среднем равен 2.
Струйно-направленные тарелки с вертикальными поперечными секционирующим и перегородками	-	-	По сравнению с колпачковыми тарелки этого типа позволяют повысить производительность колонн в 1.8–2 раза при сохранении высокой эффективности разделения. Рабочий диапазон этих тарелок более 3.
Тарелки из S-образных элементов с прямоточными клапанами (TSK)	-	-	Производительность и эффективность таких тарелок примерно на 10 % выше, чем у клапанной прямоточной тарелки.
Решетчатые тарелки провального типа с отогнутыми кромками щелей	При менимы для колонн любых диаметров	-	Характеризуются диапазоном рабочих нагрузок на 10–15 % и производительностью на 15 % больше относительно стандартных решетчатых тарелок.

\* Диапазон рабочих нагрузок – отношение максимальной скорости паров к минимальной.

В соответствии с классификацией [10] все контактные тарелки предложено разделить на четыре класса: барботажные тарелки, струйные тарелки, пленочные тарелки и секционированные тарельчатые устройства.

На барботажных тарелках пар (газ) проходит через жидкость. Жидкость при этом является сплошной фазой, а пар - дисперсной. В результате взаимодействия их на тарелке образуется парожидкостный слой.

Особенностью струйных тарелок является диспергирование жидкости паром (газом) в начальный момент их взаимодействия и последующее их совместное движение. В отличие от барботажных тарелок на струйных паровая (газовая) фаза является сплошной, а жидкая - дисперсной.

Конструктивной особенностью пленочных контактных устройств является фиксированная поверхность, образованная каналами различного сечения, по внутренней поверхности которых движется тонкая жидкостная пленка и взаимодействует с паром. Они обладают низким гидравлическим сопротивлением, и нашли применение в процессах вакуумной дистилляции. Однако при создании пленочных, промышленных аппаратов возникают трудности с равномерным распределением жидкости между контактными элементами и сепарацией фаз [13].

Для увеличения производительности тарелки следует использовать контактирование фаз в прямотоке. Однако чистый прямоток не обеспечивает высокой эффективности контакта фаз. Поэтому стремятся задержать развитие прямоточного движения, устанавливая отбойники или вертикальные перегородки в направлении, поперечном потоку жидкости, изменяя направление ввода пара на смежных элементах тарелки, применяя специальные конструктивные модификации клапанов, комбинируя различные контактные элементы в пределах контактной зоны и т. п.

В зависимости от схемы взаимного движения пара (газа), и жидкости все тарелки можно разделить на четыре группы:

- 1) тарелки перекрестного типа, в которых движение пара и жидкости осуществляется перекрестным током. Эти тарелки имеют специаль-



жесткости; 12 — клапан прямоточный; 13- полотно тарелки; 14 – длинная ограничительная ножка; 15 - короткая ограничительная ножка; 16 – выступ, обеспечивающий начальный зазор под клапаном; 17 -отбойник сетчатый концевой; 18 — жалюзийно-клапанный элемент; 19 - отбойник сетчатый промежуточный; 20 – прямоугольный клапан; 21 – выступ, обеспечивающий начальный зазор под клапаном; 22 – основание тарелки из просечно-вытяжного листа; 23 - отбойник; 24 – опорное кольцо.

### 3.3 Характеристики товарного дизельного топлива

По физико-химическим и эксплуатационным показателям топливо должно соответствовать требованиям, указанным в таблице 2 по ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) [22]

Таблица 2 - Физико-химические и эксплуатационные показатели топлива

Наименование показателя	Значение
1. Цетановое число, не менее	51,0
2. Цетановый индекс, не менее	46,0
3. Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	820,0-845,0
4. Массовая доля полициклических ароматических углеводородов <sup>1)</sup> , %, не более	8,0
5. Массовая доля серы, мг/кг, не более, для топлива:	
К3	350,0
К4	50,0
К5	10,0
6. Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, выше	55
7. Коксуемость 10%-ного остатка разгонки <sup>2)</sup> , % масс., не более	0,3
8. Зольность, % масс., не более	0,01
9. Массовая доля воды, мг/кг, не более	200
10. Общее загрязнение, мг/кг, не бо-	24



лее	
г/м <sup>3</sup> , не более	25
Часов <sup>3)</sup> , не менее	20
12. Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60 °С, мкм, не более	460
13. Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	2,000-4,500
15. Фракционный состав:	
при температуре 250 °С перегоняет- ся, % об., менее	65
при температуре 350 °С перегоняет- ся, % об., не менее	85
95% об. перегоняется при темпера- туре, °С, не выше	360
14. Содержание метиловых эфиров жирных кислот <sup>4)</sup> , % об., не более	7,0

Дизельное топливо, применяемое для быстроходных дизельных и газотурбинных двигателей наземной и судовой техники, а также предназначенное для экспорта, должно соответствовать требованиям, изложенным в межгосударственном стандарте ГОСТ 32511-2013 (введенного взамен ГОСТ 305-82)[22] и обязательного к применению с 1 января 2015 г. Отбор пробы дизельного топлива для оценки его качества производится в соответствии со стандартом ГОСТ 2517—2012 Нефть и нефтепродукты [23].

#### *Вязкость и содержание воды.*

Различают так называемое зимнее и летнее дизельное топливо. Основное отличие в температуре предельной фильтруемости (ASTM D6371,

ГОСТ 22254-92) [24] и температурах помутнения и застывания (ASTM D97, ASTM D2500, ГОСТ 20287-91) [25], указанной в стандартах на это топливо. Производство зимнего топлива обходится дороже, но без предварительного подогрева невозможно использовать летнее топливо, например, при  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ещё одной проблемой является повышенное содержание воды в дизельном топливе. Вода отслаивается при хранении дизтоплива и собирается внизу, так как плотность дизтоплива меньше  $1\text{ кг/л}$ . Водяная пробка в магистрали полностью блокирует работу двигателя. Требования межгосударственного стандарта ГОСТ 32511-2013 «Топливо дизельное» [22]. Технические условия» регламентируют кинематическую вязкость при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  для летних сортов в пределах  $3,0\div 6,0\text{ сСт}$ , для зимних сортов  $1,8\div 5,0\text{ сСт}$ , для арктических  $1,5\div 4,0\text{ сСт}$ . Этот стандарт требует также отсутствия воды во всех марках топлива.

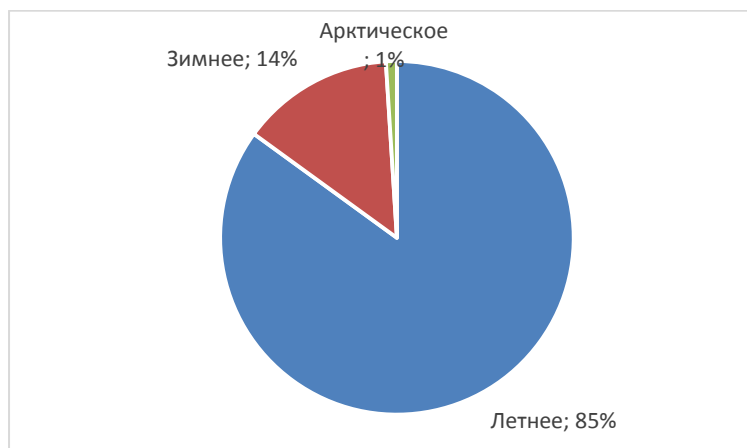


Рисунок 8 - Процентное соотношение видов дизельного топлива

### *Воспламеняемость*

Основной показатель дизельного топлива — это цетановое число (Л-45). Цетановое число характеризует способность топлива к воспламенению в камере сгорания и равно объёмному содержанию цетана в смеси с  $\alpha$ -метилнафталином, которое в стандартных условиях ASTM D613 имеет одинаковую воспламеняемость по сравнению с исследованным топливом. Температура вспышки, определённая по ASTM D93, для дизельного топлива должна быть не выше  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура перегонки, определённая

по ASTM D86, для дизельного топлива не должна быть ниже 200 и выше 350 °С.

### *Содержание серы*

В последнее время в рамках борьбы за экологию жёстко нормировано содержание серы в дизельном топливе. Под серой здесь понимается содержание сернистых соединений — меркаптанов (R-SH), сульфидов (R-S-R), дисульфидов (R-S-S-R), тиофенов, тиофанов и др., а не элементарная сера как таковая; R — углеводородный радикал. Содержание серы в нефти находится в пределах от 0,15 % (лёгкие нефти Сибири), 1,5 % (нефть Urals) до 5—7 % (тяжёлые битуминозные нефти); допустимое содержание в некоторых остаточных топливах — до 3 %, в судовом топливе — до 1 %, а по последним нормативам Европы и штата Калифорния допустимое содержание серы в дизельном топливе — не более 0,001 % (10 ppm). Понижение содержания серы в ДТ, как правило, приводит к уменьшению его смазывающих свойств, поэтому для ДТ с ультранизким содержанием серы обязательным условием является наличие смазывающих присадок.

Для производства дистиллятных дизельных топлив используют керосино-газойлевые фракции прямой перегонки нефти и частично (до 20%) газойли каталитического крекинга. Топлива для тихоходных дизелей вырабатывают из смеси мазутов с керосино-газойлевыми фракциями нефти. Основные потребители дизельного топлива — железнодорожный транспорт, грузовой автотранспорт, водный транспорт, военная техника, сельскохозяйственная техника, а также в последнее время и легковой дизельный автотранспорт. Кроме дизельных двигателей, остаточное дизельное топливо (соляровое масло) зачастую используется в качестве котельного топлива, для пропитывания кож, в смазочно-охлаждающих средствах и закалочных жидкостях, при механической и термической обработке металлов [9].

### **2.4.1 Современные способы получения дизельного топлива**

В целях обеспечения хороших низкотемпературных свойств зимнюю и арктическую разновидности дизтоплива получают из более лёгких фракций, чем летнюю. Или же проводится дорогостоящая депарафинизация. Кроме того, в арктическое дизельное топливо вводятся специальные присадки, приводящие к увеличению его цетанового числа с 38 до 40. Если провести гидроочистку дизтоплива, можно получить экологически чистые летние и зимние марки данного вида горючего. Добавление в него антидымной и депрессорной присадок позволяет получить так называемое городское дизельное топливо, которое рекомендуется использовать в мегаполисах с целью уменьшения уровня загрязнения его воздуха.

Дизельное топливо (ГОСТ 32511-2013) [22] получают компаундированием прямогонных и гидроочищенных фракций в соотношениях, обеспечивающих требования стандарта по содержанию серы. В качестве сырья для гидроочистки нередко используют смесь среднестиллятных фракций прямой перегонки и вторичных процессов, чаще прямогонного дизельного топлива и легкого газойля каталитического крекинга. Содержание серы в прямогонных фракциях в зависимости от перерабатываемой нефти колеблется в пределах 0,8-1,0 % (для сернистых нефтей), а содержание серы в гидроочищенном компоненте - от 0,08 до 0,1 %. Одно из условий технического совершенствования Двигателей (достижения больших мощностей, удлинения периода эксплуатации, создания транспортных машин с большой скоростью и способностью преодоления больших расстояний) — соответствующее улучшение качества топлив [7].

Переоснащение современного парка авиационных двигателей и дизелей происходит одновременно с освоением производства новых сортов топлив, обеспеченных доступным сырьем и приемлемой стоимостью.

Новые сорта топлив следует вырабатывать на основе продуктов, выпускаемых промышленностью. Необходимо последовательно переходить к получению усовершенствованных сортов, правильно учитывая сы-

рьевые и техноло-гические возможности, а также эксплуатационные характеристики получаемых продуктов. Несмотря на различные условия эксплуатации топлив и различные требования, предъявляемые к их качеству, можно наметить следующие общие пути совершенствования авиационных и дизельных топлив:

1. Снижение содержания сернистых и других органических неуглеводородных примесей, а также соединений, наименее стабильных в данных условиях эксплуатации.

2. Снижение коррозионной активности и улучшение противоизносных свойств топлив.

3. Радикальная очистка топлив от загрязнений и воды и сохранение в очищенном состоянии вплоть до поступления в зону сгорания.

4. Подбор компонентов топлива, обеспечивающих минимальную склонность его к термическому распаду при повышенной температуре в присутствии кислорода воздуха.

5. Подбор углеводородного состава топлив, возможно полнее отвечающего по теплофизическим характеристикам условиям эксплуатации двигателя.

6. Обеспечение химического состава топлив, обуславливающего удовлетворительные их огневые качества — устойчивое горение и поджиг в возможно более широких пределах давления воздуха, в том числе при пониженном давлении в камере сгорания, что особенно важно для авиационных двигателей. Топливо должно характеризоваться наименьшей склонностью к нагарообразованию, дымлению, горению радирующим пламенем. Для дизельных топлив важен возможно меньший период задержки воспламенения (благоприятная цетанозная характеристика). 7.

Создание топлива, возможно более эффективного при использовании его в качестве охлаждающей жидкости (чистота, стабильность, высокая теплоемкость и теплопроводность). Необходимо стремиться максимально унифицировать сорта топлив, что снизит их стоимость. Подбор топлив для

перспективной авиации с реактивными двигателями значительно сложнее, чем для перспективных транспортных машин с дизельными двигателями.

Подготовка топлив, качество которых удовлетворило бы требованиям перспективной авиации, основана на современных весьма эффективных процессах переработки нефти, в первую очередь на гидроочистке. В настоящее время в США мощность установок гидроочистки нефтяных дистиллятов составляет 4,8 млн. т/год. Процессы, связанные с облагораживанием качества нефтепродуктов (гидрирование, гидроочистка, гидрокрекинг) занимают все большее место. Именно переработка нефти при помощи этих процессов, в том числе высокосернистых, позволит получать дизельные и реактивные топлива высокого качества [8].

Расширяется применение различных высокоэффективных присадок, общая выработка которых в настоящее время в США достигает 500 тыс. т/год. Неуглеводородные органические соединения удаляют из топлив независимо от степени их вредности. Между тем химическая структура этих соединений крайне различна. В связи с этим часть их может ухудшать качество топлив, другая часть — быть малоактивной или оказывать на топливо антиокислительное, противоизносное, антикоррозионное защитное действие. Если это так, то исчерпывающее удаление сернистых, азотистых и кислородных соединений часто не будет полезным. В этом случае правильнее было бы выводить из топлива возможно более простыми методами неуглеводородные примеси, ухудшающие качество топлив в конкретных условиях эксплуатации двигателя. Еще лучше было бы выделять из топлива неразрушенные неуглеводородные соединения, чтобы затем использовать их в качестве нового источника химического сырья. Очищенные таким образом топливные дистилляты будут содержать инертные или даже полезные примеси. Подобная очистка может оказаться дешевле обработки топливных дистиллятов водородом. Топлива с остаточными стабильными сернистыми, азотистыми или кислородными соединениями можно будет применять либо самостоятельно, либо в смеси с гидроочи-

щенными дистиллятами и, возможно, с соответствующими присадками [16].

Дизельные топлива высокого качества должны получаться компаундированием на основе гидроочищенных дистиллятов, фракций, из которых дешевыми и доступными методами извлечена наименее стабильная часть сернистых соединений, и применением эффективных полифункциональных присадок. Такой путь производства приведет к увеличению ресурсов, улучшению качества и снижению стоимости получения дизельных топлив. В результате введения присадок сернистые дизельные топлива по своим эксплуатационным качествам могут быть приближены к малосернистым. Добавляемая к дизельному маслу присадка ЦИАТИМ-339 (дисульфидалкилфенолят бария) улучшает условия эксплуатации двигателя на топливе с повышенным содержанием серы. Требования к качеству дизельных топлив находятся в непосредственной связи с качеством применяемых дизельных масел.

Обычно при введении в дизельные масла эффективных полифункциональных (антиокислительных, антикоррозионных, моющих, нейтрализующих и др.) присадок в значительной мере предотвращается вредное влияние сернистых соединений топлив, увеличиваются ресурсы работы двигателя, снижается расход масла, ограничивается износ механизмов и нагароотложение [16]. В результате, на этой стадии выход дизельного топлива повышается до 70-80%. Затем необходимо очистить полученное топливо от серы и других вредных примесей.

Изобретение касается способа получения дизельного топлива, включающего обессоливание нефти, ее дистилляцию, выделение дизельных фракций, их смешение и последующую гидроочистку смеси. При дистилляции в атмосферной колонне отбирают две дизельные фракции, выкипающие в пределах 171-341°C и 199-360°C, фракцию 199-360°C направляют на жидкостную экстракцию для очистки от бензалкилтиофенов, при массовом соотношении сырье : экстрагент от 1:1 до 1:4 в качестве экстрагента

используется продукт взаимодействия органического амина с органической кислотой - амид, затем производят смешение фракций: 171-341°C и 199-360°C после очистки в процентном составе 70-85% и 15-30% соответственно, при этом смесь этих фракций при перегонке по методу ASTM D-86 имеет конец кипения не более 360°C, полученную смесь подвергают гидроочистке с получением дизельного топлива. Технический результат - получение дизельного топлива фракционного состава 171-360°C с содержанием серы не более 10 ppm [17].

Изобретение относится к области нефтепереработки и может быть использовано при получении малосернистого дизельного топлива, которое находит все большее использование в России и в Европе.

Прогнозируемый спрос на топливо в Европе свидетельствует об увеличении выработки дизельного топлива на фоне снижения выработки автомобильного бензина:

Таблица 3 - Выработка дизельного топливаавтомобильного бензина

	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.
Бензин, млн т/год	137	128,3	127	131
Дизельное топливо, млн т/год	201,2	237,8	251,8	251,5

Дизелизация автомобильного транспорта объясняется тем, что дизельный двигатель экономичнее бензинового на 25-30%.

Известен способ получения дизельного топлива (патент РФ №2247140), включающий одноступенчатую гидроочистку легкой (конец кипения не выше 300°C) и двухступенчатую гидроочистку тяжелой (температура начала кипения не ниже 300°C) газойлевых фракций на алюмо-никель /алюмокобальтмолибденовом катализаторе. Гидроочистка производится при повышенной температуре и давлении с последующим компаундированием гидроочищенных фракций. Содержание серы в получаемом дизельном топливе больше 10 ppm [31].

Известен также способ получения малосернистого дизельного топлива, описанный в патенте РФ №2303624, в соответствии с которым топ-



ливо получают путем двухступенчатой каталитической гидроочистки дизельной фракции 180-360°C в присутствии водородсодержащего газа при повышенной температуре и давлении, получают паровую и жидкую фазу гидрогенизата первой ступени. Жидкую фазу гидрогенизата первой ступени подвергают гидроочистке на второй ступени с получением гидрогенизата второй ступени и его последующим объединением с паровой фазой гидрогенизата первой ступени. И этот способ не обеспечивает содержание серы в дизельном топливе меньше 10 ppm.

Недостатком известных способов является то, что они не предназначены для получения топлива с содержанием серы не более 10 ppm [31].

Если к готовому топливу не предъявляются повышенные требования, а также нет необходимости в получении особых свойств, то **следующий этап получения** дизтоплива – **смешение или компаундирование**, можно назвать завершающим. Продукты крекинга и прямой переработки смешиваются в необходимых пропорциях – как правило, исходя из допустимого содержания серы, а потом отгружаются потребителю. На этом же этапе вводятся и всевозможные присадки. Несмотря на кажущуюся простоту, компаундирование является весьма длительным и дорогостоящим процессом.

Сложномодифицированные топлива, имеющие в своем составе десятки присадочных компонентов, требуют многократного проведения химических анализов в ходе процесса, строгого соблюдения параметров и режимов смешивания, которое иногда проводится при повышенных температурах и давлениях, требуя применения сложного и дорогостоящего оборудования.

При необходимости получения высокой морозоустойчивости иногда может потребоваться также и депарафинизация [12].

## **3 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **3.1 Объект исследования**

Установки первичной переработке нефти составляют основу всех нефтеперерабатывающих заводов, от работы этих установок зависят качество и выходы получаемых компонентов топлив, а также сырья для вторичных и других процессов переработки нефти.

*Первичная переработка (или прямая перегонка)* - это разделение нефти на отдельные фракции по температурам кипения. Она осуществляется в специальных ректификационных колоннах.

Технологические схемы установок первичной перегонки нефти обычно выбираются для определенного варианта переработки нефти – топливного или топливно-масляного.

Прямую перегонку осуществляют при повышенном давлении, а остатков – под вакуумом. Атмосферные и вакуумные трубчатые установки (АТ и ВТ) строят отдельно друг от друга или комбинируют в составе одной установки (АВТ).

При неглубокой переработке нефти по топливному варианту перегонка ее осуществляется на установках АТ атмосферных трубчатках). Атмосферные трубчатые установки (АТ) подразделяют в зависимости от технологической схемы на следующие группы:

- Установки с однократным испарением нефти;
- Установки с двухкратным испарением нефти;
- Установки с предварительным испарением в эвапораторе легких фракций и последующей ректификацией.

При глубокой переработке – на установках АВТ (атмосферно-вакуумных трубчатках) топливного варианта и при переработке по масляному варианту – на установках АВТ масляного варианта. Если установки АТ имеют только атмосферный блок, то АВТ – блоки атмосферной и вакуумной перегонки нефти. Иногда строят установки ВТ (как секции маслблока или для получения остаточного битума) [1].

Вакуумные трубчатые установки (ВТ) подразделяют на две группы:

- Установки с однократным испарением мазута;
- Установки с двухкратным испарением мазута (двухступенчатые).

Все современные нефтеперерабатывающие установки имеют секции первичной переработки. Для этого используют сложный комплекс автоматизированных аппаратов.

По сравнению с прямой перегонкой все процессы вторичной переработки весьма сложны в технологическом плане и отличаются очень высокой стоимостью. Однако они необходимы, поскольку помогают заметно увеличить выход товарного дизтоплива и заодно - улучшить его качество[2].

Объектом исследования в данной работе является двухколонная установка получения прямогонного дизельного топлива.

### **3.2 Методы исследования**

В общем случае методы расчета процесса многокомпонентной ректификации в тарельчатых колоннах можно разделить на:

- аналитические методы, позволяющие выполнить достаточно точный расчет многокомпонентных смесей (метод «от тарелки к тарелке»);
- приближенные методы, содержащие ряд упрощающих допущений, предназначены как для предварительных, так и для проектных расчетов, используются в качестве начальных приближений для точных методов (метод математического моделирования).

Приближенные методы используются как для проектных расчетов, так и для предварительной оценки составов продуктов разделения, которые являются исходными данными для метода «от тарелки к тарелке». Они обычно основаны на сведениях многокомпонентной смеси к псевдобинарной. Они применяются в тех случаях, когда желательно сделать предварительную оценку нескольких вариантов процесса, однако, если не требуется особой точности, могут использоваться и для основного расчета.

Рассмотренные методы моделирования массообменных процессов позволяют сделать вывод о том, что эффективным и простым методом расчета процесса ректификации является метод Фенске-Андервуда. Его используем для расчета двухколонной схемы получения прямогонного дизельного топлива.

## **6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Самым важным сырьем в промышленно развитых странах остается нефть. Она дает тепло, а также является автомобильным и авиационным топливом. Элементы, входящие в состав нефти, используются в производстве почти любой химической продукции, например, пластмасс, моющих средств, лаков и лекарств. Поэтому очень важно развивать технологии добычи этого ценного сырья.

Дизельное топливо используется в качестве моторных топлив и сырья в промышленном органическом синтезе. Что подтверждает значимость заявленной темы выпускной квалификационной работы.

### **6.1 Предпроектный анализ**

#### **6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

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

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

В данной работе продуктом и целевым рынком являются:

*продукт:* Дизельное топливо;

*целевой рынок:* железнодорожный транспорт, грузовой автотранспорт, водный транспорт, военная техника, сельскохозяйственная техника, легковой дизельный автотранспорт, котельные.

#### **6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

При ведении собственного производства необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка. Периодический анализ конкурентных технических решений с

позиции ресурсоэффективности позволяет оценить эффективность научной разработки по сравнению с конкурирующими предприятиями. Из наиболее влияющих предприятий-конкурентов в области производства дизельных топлив: ПАО «Газпромнефть» и ОАО «Сургутнефтегаз».

В таблице 20 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические решения в области производства дизельного топлива.

Таблица 20 - Анализ конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Выход продукта	0,3	4	5	3	1,2	1,5	0,9
2. Качество продукта	0,3	5	4	3	1,5	1,2	0,9
3. Энергоемкость процессов	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
4. Цена	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
5. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
6. Финансирование научной разработки	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>4,5</b>	<b>4,3</b>	<b>3,4</b>

Б<sub>ф</sub> – продукт проведенной исследовательской работы;

Б<sub>к1</sub> – ПАО «Газпромнефть»;

Б<sub>к2</sub> – ОАО «Сургутнефтегаз».

### 6.1.3 SWOT-анализ

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

Таблица 21– Результаты первого этапа SWOT- анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Систематическое повышение уровня квалификации.</li> <li>2. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области.</li> <li>3. Наличие постоянных поставщиков (Зап. Сибирь и Сахалин).</li> <li>4. Высокое качество продукции, соответствующее мировым стандартам.</li> <li>5. Внедрение новых узлов оборудования и совершенствования технологических процессов.</li> </ol>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низкий уровень заработной платы для молодых специалистов.</li> <li>2. Устаревшее оборудование.</li> <li>3. Высокая степень износа оборудования.</li> <li>4. Повышение цен у поставщиков.</li> <li>5. Высокий уровень цен на выпускаемую продукцию.</li> </ol>
<p><b>Возможности:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Спрос на выпуск нефтепродуктов в России, некоторых странах АТР достаточно высок и имеет устойчивую тенденцию к увеличению.</li> <li>2. Малое количество посредников на территории Дальнего Востока.</li> <li>3. Небольшое количество конкурентов на территории Дальнего Востока.</li> <li>4. Высокое качество поставляемых ресурсов.</li> </ol>	<p><b>Сильные стороны и возможности:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Эффективное использование ресурсов производства.</li> <li>2. Оптимизация количества посредников за счет постоянных и проверенных поставщиков (пользоваться услугами постоянных поставщиков).</li> <li>3. Поддержание увеличения спроса и выхода на новые рынки сбыта товара за счет высокого качества продукции.</li> </ol>	<p><b>Слабые стороны и возможности:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Создание эффективной системы мотивации и стимулирования для сотрудников.</li> <li>2. Нарботка и укрепление конкурентных преимуществ продукта.</li> <li>3. Модернизация оборудования.</li> <li>4. Внедрение технологии</li> <li>5. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений</li> </ol>
<p><b>Угрозы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Увеличение уровня налогов.</li> <li>2. Повышение требований к качеству продукции.</li> <li>3. Несвоевременные поставки сырья и оборудования.</li> </ol>	<p><b>Сильные стороны и угрозы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Применение оптимальной налоговой политики.</li> <li>2. Внедрение менеджмента качества.</li> <li>3. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.</li> </ol>	<p><b>Слабые стороны и угрозы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышение цен на выпускаемую продукцию.</li> <li>2. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.</li> </ol>

### 6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Степень готовности научной разработки к коммерциализации и уровень собственных знаний для ее проведения заполняется в специальной форме (таблица 22).

Таблица 22- Оценка готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	2



14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	36	36

По результатам оценки можно сказать, что данная разработка считается средней перспективности.

## 6.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

Заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта указаны в таблице 23.

Таблица 23 - Результат научного проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Автозаправочные станции «Роснефть»	Дизельное топливо

Цели проекта включают цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 24- информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей

<b>Цели проекта:</b>	Разработка двухколонной ректификационной установки производства легкого дизельного топлива с тарельчатыми контактными устройствами с помощью приближенных методов расчета многокомпонентных смесей.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получение результатов по работе с математической моделью
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Адекватность результатов
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	Стандартизация готового продукта

## 6.2.1 Организационная структура проекта

Для реализации проекта необходимы два исполнителя – руководитель и студент. Руководитель формулирует цель проекта, предъявляемые к нему требования, осуществляет контроль над его практической реализацией для соответствия требованиям и участвует в стадии разработки документации и рабочих чертежей. Студент непосредственно осуществляет разработку проекта.

Одной из основных целей планирования работ является определение общей продолжительности их проведения. Наиболее удобным, простым и наглядным способом для этих целей является использование линейного графика. Для его построения определим события и составим таблицу 25.

Таблица 25– Основные цели планирования работ

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	1	Выбор направления исследований	Руководитель, Бакалавр
Разработка технического задания	2	Составление технического задания	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	3	Изучение литературы, нормативных документов, составление литературного обзора	Бакалавр
	4	Изучение методики проведения экспериментов	Бакалавр
	5	Знакомство с оборудованием для проведения экспериментов	Руководитель Бакалавр
	6	Проведение экспериментов	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Обработка результатов, оформление таблиц данных, графиков	Бакалавр
	8	Обсуждение полученных результатов	Бакалавр, руководитель
Оформление отчета по ВКР (комплекта документации по ВКР)	19	Оформление выводов	Бакалавр
	10	Оформление пояснительной записки	Бакалавр

## 6.2.2 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле

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

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.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоемкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{C_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ раб.дн.}$$

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

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

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

## 6.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 * 1,48 = 2,08 = 2 \text{ календ.дн}$$

где  $T_{ki}$  - продолжительность выполнения одной работы, календ.дн.;

$T_{pi}$  - продолжительность одной работы, раб.дн.;

$k$  – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{КГ}}}{T_{\text{КГ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, = \frac{365}{365 - 105 - 14} = 1,48$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округлили до целого числа.

Все рассчитанные значения свели в таблицу 26.

Таблица 26 - Временные показатели проведения ВКР

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни			$t_{max}$ , чел-дни			$t_{ожг}$ , чел-дни											
	Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3	Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3	Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3	Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3	Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3	Ис п.1	Ис п.2	Ис п.3
Выбор направления исследований	1	0,8	0,8	2	2	1,8	1,40	1,28	1,2	Р,Б	Р,Б	Р,Б	0,72	0,64	0,6	1	1	1
Составление технического задания	0,6	0,5	0,5	0,8	0,8	0,9	0,68	0,62	0,66	Р	Р	Р	0,67	0,62	0,66	1	1	1
Изучение литературы, нормативных документов, составление литературного обзора	13	11	12	17	15	16	14,6	12,6	13,6	Б	Б	Б	14,8	14	13,8	23	20	20
Изучение методики проведения экспериментов	4	4	3	6	5	5	4,8	4,4	3,8	Б	Б	Б	4,7	4,4	3,9	7	7	6
Знакомство с оборудованием для проведения экспериментов	6	5	6	7	7	7	6,4	5,8	6,4	Р,Б	Р,Б	Р,Б	3,9	3,5	3,2	5	4	4
Проведение экспериментов	16	15	15	18	17	16	16,8	15,8	15,4	Б	Б	Б	16,8	15,8	15,6	26	24	24
Обработка результатов, оформление таблиц данных, графиков	9	8	9	10	10	10	9,4	8,8	9,4	Б	Б	Б	9,8	8,8	9,4	15	14	15
Обсуждение полученных результатов	9	9	8	10	10	10	9,4	9,4	8,8	Р,Б	Р,Б	Р,Б	4,8	4,7	4,4	7	7	7
Оформление выводов	7	6	6	8	9	8	7,4	7,2	6,8	Б	Б	Б	7,6	7,2	6,9	11	11	10
Оформление пояснительной записки	15	14	14	16	16	15	15,4	14,8	14,4	Б	Б	Б	15,6	15,3	14,9	23	22	21
<b>Итого:</b>													<b>79</b>	<b>75</b>	<b>73</b>	<b>119</b>	<b>111</b>	<b>109</b>

Р – руководитель; Б - бакалав

## 6.2.4. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта (таблица 27).

Таблица 27 - Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	6500000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	АО «Омский НПЗ»
3.2. Сроки проекта:	11.01.17-25.05.17
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	11.01.17
3.2.2. Дата завершения проекта	25.05.17

## 6.3 Планирование управления научно-техническим проектом

### 6.3.1 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Таблица 28 - Линейный график

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Изучение литературы, составление литературного обзора	40	11.01.17	29.02.17	Хасанова Наталья Александровна
Расчет на математической модели	31	01.03.17	31.03.17	Хасанова Наталья Александровна
Обсуждение полученных результатов	14	01.04.17	15.04.17	Хасанова Наталья Александровна Митянина Ольга Евгеньевна
Оформление выводов	18	20.04.17	02.05.17	Хасанова Наталья Александровна Митянина Ольга Евгеньевна
Оформление пояснительной записки	21	03.05.17	24.05.17	Хасанова Наталья Александровна Митянина Ольга Евге-

				ньевна
<b>Итого:</b>	124	11.01.17	25.05.17	

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (таблица 29).

Таблица 29 -Диаграмма Ганта

Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ																
			январь			февраль			март			апрель			май				
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Изучение литературы, составление литературного обзора	Студент	40	■																
Расчет на математической модели	Студент	31								■									
Обсуждение полученных результатов	Студент, руководитель	14										■							
Оформление выводов	Студент, руководитель	18											■						
Оформление пояснительной записки	Студент, руководитель	21															■		

### 6.3.2 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице (таблица 30).

**Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты**

*(за вычетом отходов)*

Таблица 30 – Статьи затрат

Затраты по статьям					
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
330900	5750000	92718,5	12032,78	31425,4	6217076,68
495900	5750000	92718,5	12032,78	31425,4	6382076,68
396900	5750000	92718,5	12032,78	31425,4	6283076,68

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Результаты по данной статье указаны в таблице 31.



Таблица 31 - Материальные затраты.

Наименование	Ед.изм.	Количество			Цена за ед., т.руб			Затраты на материалы, (Зм), т.руб.		
		ОНПЗ	Аналог 1	Аналог2	ОНПЗ	Аналог1	Аналог2	ОНПЗ	Аналог 1	Аналог 2
Нефть	т	100	150	120	3,3	3,3	3,3	330,0	495,0	396,0
Нейтрализатор	л	50	50	50	0,018	0,018	0,018	0,9	0,9	0,9
<b>Итого:</b>								<b>330,9</b>	<b>495,9</b>	<b>396,9</b>

*Аналог 1 – ПАО «Газпром нефть»;*

*Аналог 2 – ОАО «Сургутнефтегаз».*

### ***Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ***

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме (таблица 32). Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 32 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, т.руб.	Сумма амортизационных отчислений, т.руб.
1.	Испаритель	1	150,0	22,50
2.	Ректификационная колонна	3	5000,0	750,00
3.	Сепаратор	4	100,0	15,00
4.	Теплообменник	14	10,0	1,50
5.	Печь	4	300,0	45,00
6.	Насос	20	20,0	3,00
7.	Рефлюксные ёмкости	3	120,0	18,00
8.	Холодильник	12	50,0	7,50
<b>Итого</b>			<b>5750,0</b>	<b>862,50</b>

### ***Основная заработная плата***

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая еже-

месячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводим в таблицу 33.

Таблица 33 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$ , руб.	$k_p$	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	28924,94	1,3	37602,42	1253,42	64	80218,5
бакалавр	2500				88	12500

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (20)$$

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

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (21)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 13);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (22)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – 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;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.(таблица 34).

Таблица 34 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	136	136
Количество нерабочих дней	42	42
- выходные дни	6	6
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	-
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	64	88

***Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала***

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (23)$$

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

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

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

В таблице 35 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 35 - Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Бакалаврт
Основная зарплата	80218,5	12500
Дополнительная зарплата	12032,78	-
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	92251,28	12500

***Отчисления на социальные нужды***

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (24)$$

где  $k_{\text{внеб}} = 30\%$  коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 36 - Отчисления на социальные нужды

	<b>Руководитель</b>	<b>Бакалавр</b>
Зарплата	80218,5	12500
Отчисления на социальные нужды	27675,4	3750

### 6.3.3 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная (таблица 37).

Таблица 37 - Выбор организационной структуры научного проекта

<b>Критерии выбора</b>	<b>Функциональная</b>	<b>Матричная</b>	<b>Проектная</b>
<b>Степень неопределенности условий реализации проекта</b>	Низкая	Высокая	Высокая
<b>Технология проекта</b>	Стандартная	Сложная	Новая
<b>Сложность проекта</b>	Низкая	Средняя	Высокая
<b>Взаимозависимость между отдельными частями проекта</b>	Низкая	Средняя	Высокая
<b>Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)</b>	Низкая	Средняя	Высокая
<b>Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня</b>	Высокая	Средняя	Низкая

Вывод: на основе проведенного анализа выбора организационной структуры научного проекта - наиболее выгодной является проектная структура.

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

#### 6.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования (таблица 38). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Таблица 38 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки

Вариант исполнения аналога №	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	495900	5750000	92718,5	31425,4	6382076,68
2	396900	5750000	92718,5	31425,4	6283076,68

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{6217076,68}{6382076,68} = 0,97 \quad (25)$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{6382076,68}{6382076,68} = 1 \quad (26)$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{6283076,68}{6382076,68} = 0,98 \quad (27)$$

где  $I_{\Phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad (28)$$

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (29)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;  $a_i$  – весовой коэффициент i-го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка i-го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 39.

Таблица 39 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производи-	0,25	5	5	3

тельности труда				
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	3
3. Надежность	0,20	5	5	4
4. Воспроизводимость	0,25	4	4	4
5. Материалоемкость	0,15	5	4	4
ИТОГО	1	4,6	4,4	3,5

Аналог 1 – ПАО «Газпром нефть»;

Аналог 2 – ОАО «Сургутнефтегаз».

$$I_m^p = 5 \times 0,25 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,20 + 4 \times 0,25 + 5 \times 0,15 = 4,6 \quad (30)$$

$$I_1^A = 5 \times 0,25 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,20 + 4 \times 0,25 + 4 \times 0,15 = 4,5 \quad (31)$$

$$I_2^A = 3 \times 0,25 + 3 \times 0,15 + 4 \times 0,20 + 4 \times 0,25 + 4 \times 0,15 = 3,8 \quad (32)$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{финр}^p$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,6}{0,97} = 4,7 \quad (33)$$

$$I_{финр}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{4,5}{1} = 4,5 \quad (34)$$

$$I_{финр}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{3,8}{0,98} = 3,9 \quad (35)$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a1}} = \frac{4,7}{4,5} = 1,04 \quad (36)$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{a2}} = \frac{4,7}{3,9} = 1,21 \quad (37)$$

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

$I_m^p$  – интегральный показатель разработки;



$I_{тэ}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 40 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Текущий проект	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,97	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,6	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	4,7	3,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,04		1,21

*Аналог 1 – ПАО «Газпром нефть»;*

*Аналог 2 – ОАО «Сургутнефтегаз».*

**Вывод:** Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что вариант решения (Текущий проект - «Омский НПЗ») поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым. Полученная величина интегрального финансового показателя (Текущий проект) = 0,97 наиболее удешевляет стоимость разработки. Наибольший интегральный показатель ресурсоэффективности у (Текущий проект) = 4,6 (данная величина превышает единицу), соответственно данная инвестиция приемлема.