

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

---

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки (специальность)\_18.03.01. «Химическая технология»  
(Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов)  
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Оптимизация конструкции атмосферной колонны с целью улучшения товарных свойств дизельного топлива</b>

УДК 665.63.048.3:665.753.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д53	Мешкова Елена Олеговна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Самборская М.А.	К.Н.Т.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжагина Т.Г.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Романова С.В.	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск - 2020 г.

## Оглавление

Реферат .....	11
Введение.....	12
Список обозначений и сокращений .....	15
1 Эффективные схемы фракционирования нефти виды и конструкции контактных устройств для ректификационных колонн.....	16
1.1 Эффективные контактные устройства.....	16
1.2 Изменение состава и структуры схемы фракционирования и интеграция потоков ..	23
1.3 Использование теплового насоса.....	26
1.4 Характеристики и методы определения товарных свойств моторных топлив .....	27
2 Современные системы автоматизированного проектирования .....	30
2.1 Технологическое проектирование ректификации с использованием САПР Unisim Design .....	32
2.1.1 Honeywell's UniSim® Design.....	33
2.1.2 Среда Unisim Design .....	33
2.1.3 Работа с диспетчером базиса.....	34
2.1.4 Выбор компонентов.....	35
2.1.5 Выбор термодинамической модели .....	36
2.1.6 Диспетчер нефти.....	37
2.1.7 Создание и расчёт технологической схемы.....	39
2.1.8 Окно колонны .....	41
2.1.9 Вывод результатов.....	41
3 Постановка задачи исследования.....	43
3.1 Объект и методы исследования.....	43
3.2 Постановка задачи.....	43
4 Экспериментальная часть.....	45
4.1 Моделирование схем фракционирования .....	45
4.1.1 Исходные данные.....	45

4.1.2	Моделирование колонны отбензинивания .....	46
4.1.3	«TraySizing» .....	51
4.1.4	Оценка товарных свойств бокового погона (дизельной фракции) .....	52
4.1.5	Анализ эффективности .....	52
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	56
5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	56
5.2	Потенциальные потребители результатов исследования .....	57
5.3	Анализ конкурентных технических решений .....	57
5.4	SWOT-анализ.....	58
5.5	Планирование научно-исследовательских работ .....	60
5.5.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	60
5.5.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	61
5.5.3	Разработка графика проведения научного исследования .....	62
5.6	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	65
5.6.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	65
5.6.2	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	66
5.6.3	Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ .....	66
5.6.4	Основная заработная плата .....	67
5.6.5	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	69
5.6.6	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	69
5.6.7	Организационная структура проекта .....	70
5.7	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	70
6	Социальная ответственность.....	74
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	74
6.2	Производственная безопасность.....	75
6.3	Экологическая безопасность.....	79
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	81

6.5	Вывод по разделу социальная ответственность.....	82
	Заключение.....	83
	Список использованных источников .....	84

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки (специальность) 18.03.01. «Химическая технология»  
(Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов)  
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Кузьменко Е.А.  
(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
3-2Д53	Мешковой Елене Олеговне

Тема работы:

<b>Оптимизация конструкции атмосферной колонны с целью улучшения товарных свойств дизельного топлива</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	<b>87-47/об. От 27.03.2020</b>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	<b>25.05.2020</b>
--	-------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <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>	Колонна фракционирования нефти, контактные устройства, система автоматизированного проектирования Unisim Design, методы расчета товарных свойств моторных топлив
--	--

<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; заключение по работе).</i></p>	<p><b>Технико-экономическое обоснование:</b> Эффективные схемы фракционирования нефти виды и конструкции контактных устройств для ректификационных колонн. <b>Аналитический обзор:</b> Экспериментальные и расчетные методы определения товарных свойств моторных топлив. Современные САПР, технологическое проектирование ректификации с использованием САПР Unisim Design.</p> <p><b>Постановка задачи исследования.</b> <b>Экспериментальная часть:</b> Разработка моделей тарельчатых (с различными типами тарелок) и насадочных (с различными видами насадки) колонн фракционирования нефти в САПР Unisim Design. Оценка расходов флегмы и парового потока в САПР Unisim Design, нагрузок на кипятильник и конденсатор. Оценка товарных свойств бокового погона (дизельной фракции). Выбор наиболее эффективной тарельчатой/насадочной колонны / насадочной колонны.</p> <p><b>Выводы и рекомендации</b></p>										
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>											
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>											
<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="229 1214 660 1267">Раздел</th> <th data-bbox="667 1214 1554 1267">Консультант</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="229 1272 660 1339"></td> <td data-bbox="667 1272 1554 1339"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="229 1344 660 1411"></td> <td data-bbox="667 1344 1554 1411"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="229 1415 660 1482"></td> <td data-bbox="667 1415 1554 1482"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="229 1487 660 1550"></td> <td data-bbox="667 1487 1554 1550"></td> </tr> </tbody> </table>	Раздел	Консультант									
Раздел	Консультант										
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="229 1621 1554 1688"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="229 1693 1554 1760"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="229 1765 1554 1832"></td> </tr> </table>											
<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p><b>14.01.20 г.</b></p>										

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	М.А. Самборская	к.т.н.		14.01.20 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д53	Мешкова Е.О.		14.01.20 г.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Д53	Мешковой Елене Олеговне

<b>Институт</b>	<i>ИШПР</i>	<b>Кафедра</b>	<b>ОХИ</b>
<b>Уровень образования</b>	<i>Бакалавриат</i>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Химической технологии</b>

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

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

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>1. Потенциальные потребители результатов исследования 2. Анализ конкурентных технических решений 3. SWOT-анализ</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий</i>
3. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ</i>
4. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования оптимизации конструкции атмосферной колонны фракционирования с целью улучшения товарных свойств дизельного топлива</i>

**Перечень графического материала:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i></li> <li>2. <i>Матрица SWOT</i></li> <li>3. <i>Альтернативы проведения НИ</i></li> <li>4. <i>График проведения и бюджет НИ</i></li> <li>5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i></li> </ol>
--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	31.01.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		31.01.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2Д53	Мешкова Елена Олеговна		31.01.2020



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Д53	Мешкова Елена Олеговна

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Химическая технология
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология

**Тема ВКР:** разработка модернизационной схемы подготовки попутного нефтяного газа

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	<i>Объектом исследования являются: приборы, оборудование, рабочая зона персонала, обслуживающего проектируемую ректификационную колонну отбензинивания нефти. Область применения - нефтяная промышленность.</i>
---	---

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<i>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</i>
2. Производственная безопасность:	<i>- отклонение показателей микроклимата; - повышенный уровень шума; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.</i>
3. Экологическая безопасность:	<i>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>- взрыв, пожар, разрыв трубопровода; - протечки в запорно-регулирующей арматуре или в аппаратах; - сбои в работе системы электроснабжения; - при возникновении ЧС в первую очередь необходимо сообщить в пожарную охрану и скорую помощь. - прекращение подачи сырья; - отсечь аварийный участок; - отцепить территорию лентой и выставить необходимые знаки.</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	31.01.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель отделения ОД ШБИП	Романова Светлана Владимировна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2Д53	Мешкова Елена Олеговна		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа объемом 86 с., 34 рисунков, 29 таблиц, 37 источников.

Ключевые слова: Колонна отбензинивания нефти, контактные устройства, система автоматизированного проектирования UnisimDesign, методы оценки эффективности.

Объект исследования - установка фракционирования нефти.

Цель работы - повышение эффективности фракционирования нефти.

В процессе исследования проводились: литературный обзор, были построены две модели колонн фракционирования нефти.

В результате исследования: был выполнен анализ эффективности контактных устройств различных типов.

Область применения: нефтеперерабатывающая промышленность.  
Экономическая эффективность/значимость работы: высокая

## Введение

Ректификационные системы являются сложными технологическими (процессными) установками с нелинейным динамическим поведением, обусловленным нелинейностью уравнений парожидкостного равновесия и сложной структурой технологической схемы: пред фракционирование, боковые погоны, множественность мест ввода питания, высокие требования к чистоте продуктов разделения и т.д.

Их динамика - это смесь быстрых изменений расхода пара, средних по скорости изменений расхода жидкости и очень медленных изменений состава на тарелках.

Эффективный контроль ректификационных колонн может улучшить выход продукции, уменьшить энергопотребление, увеличить мощность установки, улучшить качество продукции, повысить надежность и безопасность процесса [1].

Оптимизация - целенаправленная деятельность людей, которая заключается в получении наилучших результатов при соответствующих условиях. Критерий оптимальности - количественная оценка оптимизируемого качества объекта. Это главный признак, по которому судят о том, насколько хорошо функционирует система, по которой работает данный процесс. В зависимости от конкретных условий в качестве критерия оптимальности можно выбрать технологический критерий, например, максимальный/требуемый выход продукции; экономический критерий, например, минимальная стоимость продукции при заданной производительности.

Достижения в области моделирования должны широко применяться в химической технологии, поскольку это обеспечивает возможность быстрого расчета параметров процесса на стадии проектирования, во время работы установок, в стационарном режиме, работы установки и в нештатных ситуациях, когда как раз можно оценить эффективность модели. Прогнозирование поведения ректификационных колонн, прогнозирование

нагрузок на ректификационную колонну в случае нарушения режима является очень интересным примером использования моделирования в промышленности. Целью моделирования, расчета химико-технологических систем является наилучшая реализация химико-технологического процесса, то есть его оптимизация.

Для решения подобных задач широко используются компьютерные системы, моделирующие работу аппаратов и технологических схем.

Фракционный состав является важным показателем качества нефти, определяет ее стоимость и позволяет выбрать наиболее оптимальный способ переработки нефти [3].

Основным технологическим процессом разделения смесей на фракции является ректификация, которая характеризуется большой энергоемкостью, 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.

Для разработки моделей ректификации широко используются компьютерные системы, моделирующие работу аппаратов и технологических схем, например, UniSim Design. Выполнить оптимизацию на модели можно за счет подбора оптимальных технологических параметров или

совершенствования конструкций аппаратов, в частности за счет использования более совершенных контактных устройств.

Фракционирование нефти - начальная стадия переработки, как правило, это крупнотоннажные установки, требующие больших инвестиций и операционных расходов. Оптимизация работы установки фракционирования позволит снизить затраты и повысить эффективность работы НПЗ в целом.

Цель данной работы - провести сравнительный анализ эффективности различных конструкций колонн фракционирования нефти.

## **Список обозначений и сокращений**

САПР - система автоматизированного проектирования

АСУТП - Автоматизированная система управления технологическим процессом

КИПиА - контрольно-измерительные приборы и автоматика

НПЗ -нефтеперерабатывающий завод

DWC – divided wall column – колонна с разделительной стенкой

ДФ- дизельная фракция

## **1 Эффективные схемы фракционирования нефти виды и конструкции контактных устройств для ректификационных колонн**

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.

Методы увеличения энергоэффективности:

- Использование высокоэффективных контактных устройств;
- Изменение состава и структуры схемы фракционирования и интеграция потоков;
- Использование теплового насоса.

### **1.1 Эффективные контактные устройства**

По внутреннему устройству ректификационные колонны подразделяются на две основные группы: тарельчатые и насадочные.

В тарельчатых колоннах контакт между жидкой и паровой фазами в основном происходит ступенчато в слое жидкости на тарелке и частично в межтарельчатом пространстве.

В насадочной колонне контакт между массообменивающимися потоками происходит непрерывно по высоте слоя насадки.

Тарельчатые ректификационные колонны подразделяются на колпачковые и бесколпачковые (ситчатые, решетчатые, дырчатые и др.). В зависимости от способа перетока жидкости с тарелки на тарелку бесколпачковые тарелки могут быть провального типа, в которых жидкость стекает на нижележащие тарелки через отверстия в тарелке, или с переливами, как и у колпачковых тарелок.

Насадочные колонны различаются по типу применяемой насадки, а также по способу заполнения колонны насадкой — сплошным слоем по всей высоте колонны или отдельными слоями, размещенными на специальных поддерживающих распределительных решетках (тарелках).



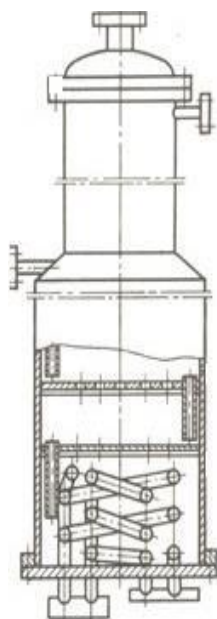


Рисунок 1 - Тарельчатая колонна

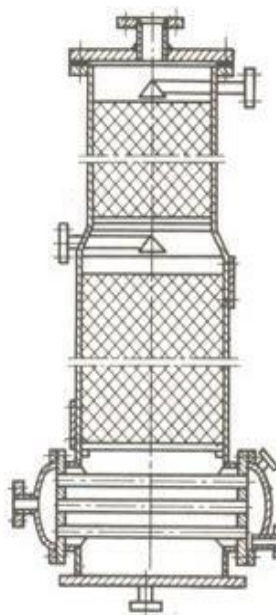


Рисунок 2 - Насадочная колонна

В соответствии с классификацией [6] все контактные тарелки предложено разделить на четыре класса: барботажные тарелки, струйные тарелки, пленочные тарелки и секционированные тарельчатые устройства [5].

**Типы тарелок.** Характеристика конструкций контактных тарелок представлена в виде таблицы 1.

Таблица 1 - Характеристика конструкций контактных тарелок

Конструкция тарелки	Диаметр колонны, мм	Расстояние 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/м3.
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/м3. 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	Применимы 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.

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. [8].

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

- тарелки перекрестного типа, в которых движение пара и жидкости осуществляется перекрестным током. Эти тарелки имеют специальные переливные устройства для перетока жидкости с одной тарелки на другую;
- тарелки провального типа, в которых переливные устройства отсутствуют, а газ и жидкость проходят через одни и те же отверстия;
- тарелки с однонаправленным движением газа и жидкости. К ним относятся, в частности, ситчатые тарелки с отбойными элементами;
- тарелки прочих типов.

Последняя группа тарелок, по-видимому, наиболее обширная и отличается большим разнообразием. В то же время широкое распространение в промышленной практике получили лишь некоторые конструкции: колпачковые, ситчатые, клапанные, ситчато-клапанные, ситчатые с отбойными элементами, решетчатые тарелки [8].

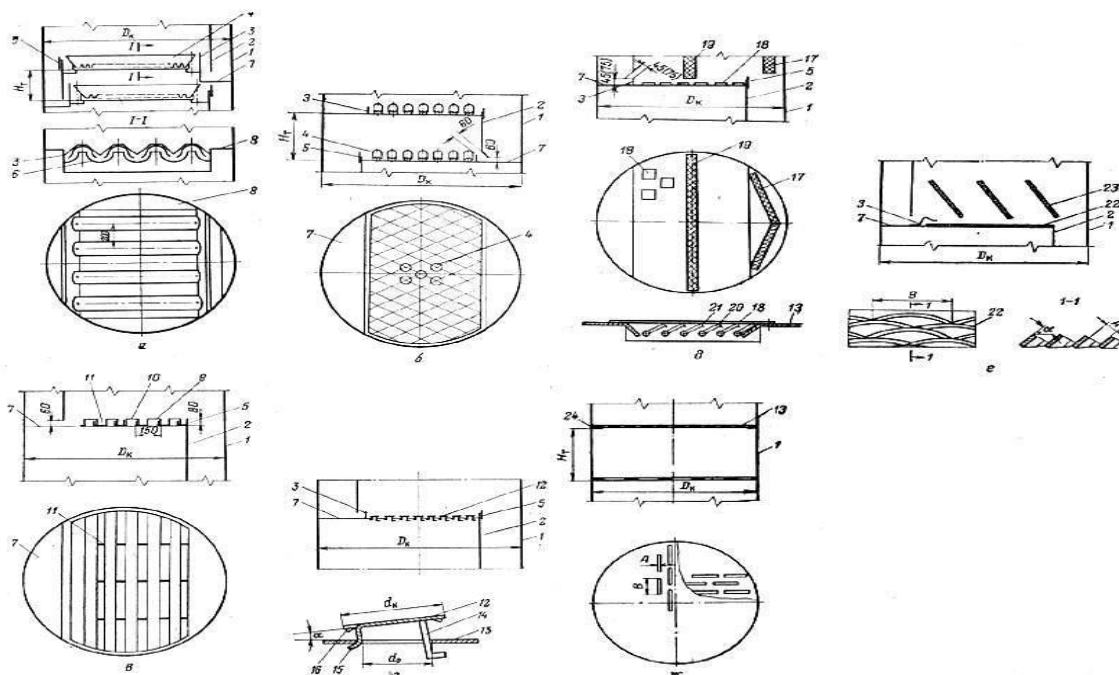


Рисунок 3 - Основные элементы стандартных тарелок: а — колпачковая желобчатая; б — колпачковая капсульная; в - колпачковая из S-образных элементов; г — клапанная прямоточная; д - жалюзийно-клапанная; е - ситчатая с отбойниками из просечновытяжного листа; ж - решетчатая провального типа; 1 - корпус колонны; 2 - стенка переливного кармана; 3 - подпорная перегородка; 4 — колпачок; 5 — сливная перегородка; 6 — желоб; 7— приемный карман; 8 — глухой сегмент; 9 — S-образный

элемент; 10 — разборный S-образный элемент 11 — ребро жесткости; 12 — клапан прямооточный; 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.

Высокоэффективной тарелкой для массообменных газожидкостных процессов является каскадная тарелка. Она содержит горизонтальные ленты, которые образуют уклон от стены колонны, образуя щели между лентами, и напоминают лестницу. Данное изобретение уменьшает гидравлическое сопротивление, повышает скорость массообмена между жидкостью и газом, и дает возможность работы тарелки в широком диапазоне скоростей [9].

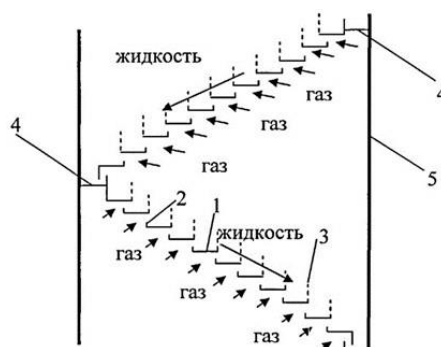


Рисунок 4 - Каскадная тарелка

1-ленты, 2-плоскость бордюры, 3-сетчатая лента, 4-переливное устройство, 5-стена колонны.

Для обеспечения тепло-массообменных процессов в ректификационной колонне используют различного типа насадки. К эффективным насадкам, имеющим малую ВЭТС относятся насыпные нерегулярные насадки типа колец Рашига, Диксона, спирально-призматической и т.п. Однако, их применение ограничивается диаметром колонн равным 150 мм, что приводит к недостаточно равномерному распределению жидкой и газообразной фаз по сечению колонны. К нарушению массообмена приводит то, что пар «пробивает» каналы в насадке, отжимая жидкость в стороны.

В патенте RU 2406565 предлагается внутри колонны перед засыпкой нерегулярной насадкой размещать призматическую структуру из капиллярной сетки с вертикальными гранями, которая делит колонну на отсеки равной

площади поперечного сечения выпуклой формы любым из известных способов, над каждым отсеком находится свой дефлегматор с распределителем жидкой фазы по площади отсека.

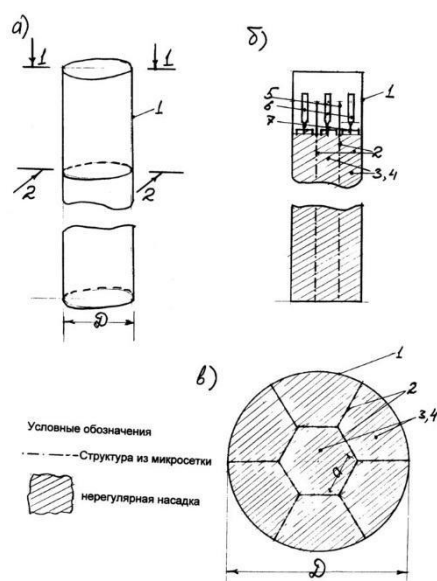


Рисунок 5 - Насадка (чертеж)

1 - цилиндрическая колонна; 2 - призматическая структура из капиллярной сетки с вертикальными гранями, 3 - отсеки равной площади поперечного сечения выпуклой формы; 4 - нерегулярная насадка; 5 - листовая сетчатая структура; дефлегматор; 7 - распределитель.

При такой конструкции пар не переходит из отсека в отсек, а краевой эффект на границах отсеков отсутствует. В системе осуществляется обратная связь, с помощью которой выравниваются потоки жидкой и газообразной фаз в каждом отсеке. Система в целом находится в динамическом равновесии и саморегулируется [12].

Типы насадок. Кольца Рашига являют собой незаменимые приспособления, используемые, преимущественно, в химической промышленности.








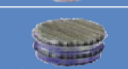

	Тип насадки		Материал
	Mellapak 64.X/64.Y Mellapak 125.X/125.Y Mellapak 170.X/170.Y Mellapak 2X/2Y Mellapak 250.X/250.Y Mellapak 350.Y	Mellapak 500.X/500.Y Mellapak 750.Y Другие типы насадок – по требованию	Нержавеющая сталь Углеродистая сталь Хастеллой, монель, алюминий, медь-бронза, латунь, титан, никель Другие материалы возможны по требованию
	Mellapak Plus 252.Y Mellapak Plus 352.Y Mellapak Plus 452.Y Mellapak Plus 752.Y Другие типы насадок – по требованию		Нержавеющая сталь Углеродистая сталь Хастеллой, монель, алюминий, медь-бронза, латунь, титан, никель Другие материалы возможны по требованию
	Mellapak 125.X/Y Mellapak 250.X/Y из полимерных материалов		PP, PVC, P, PVDF, Teflon® PFA (полипропилен, ПВХ, фторопласт-2М, фторопласт-4)
	Mellagrid 40.Y Mellagrid 64.Y Mellagrid 90.X		Нержавеющая сталь Углеродистая сталь Другие материалы возможны по требованию
	Сетчатая насадка BX Сетчатая насадка BXPlus Сетчатая насадка CY		Нержавеющая сталь Медь-бронза, монель, хастеллой, никель, титан Другие материалы возможны по требованию
	Сетчатая насадка BX из полимерных материалов		Сетка изготовлена из полипропилен/полиакрилонитриловой смеси (PP/AN)
	Mellacarbon 125.Y Mellacarbon 250.Y Mellacarbon 350.Y Mellacarbon 500.Y		Углерод
	Лабораторная насадка BX (сетчатая) Лабораторная насадка EX (сетчатая)	Лабораторные насадки DXM и DYM (из листового металла)	Нержавеющая сталь Различные сплавы Углерод
	Katarak-SP 11 Katarak-SP 12 Katarak-SP 13		Нержавеющая сталь Другие материалы возможны по требованию

Рисунок 6 - Регулярные насадки фирмы Зульцер Хемтех

По материалу изготовления выделяют некоторые виды колец Рашига: керамические; углеграфитовые; стальные (изготавливаются посредством разрезания стандартных труб, имеют достаточно большую толщину стенок, немалый объемный вес); иногда, из других металлов.

Кольца Рашига постоянно совершенствуются, поэтому вполне возможным является факт появления на рынке услуг насадок из пластических масс. В зависимости от используемого при изготовлении материала, меняются и некоторые характеристики, и свойства приспособления. Это и прочность, и кислотостойкость.

Они имеют ряд отличительных характеристик и должны соответствовать некоторым специфическим требованиям.

Среди основных требований, предъявляемых к насадкам, можно выделить большую удельную поверхность и небольшой удельный вес. Также должен быть в наличии достаточно большой свободный объем, возможность оказывать малое сопротивление газовым потокам, способность хорошо распределять жидкость. Не менее важным показателем является и стойкость к коррозионной среде, в которой находятся насадки.

Кольца Рашига относят к одному из подтипов кольцевых насадок. Внешне это цилиндрические насадки с тонкими стенками. Наружный диаметр подобных приспособлений, чаще всего, равен высоте самого кольца. Изменяется данный параметр от 25 до 150 миллиметров.

Рынок также насыщен и другими, более современными, насадками, которые во многом лучше колец Рашига. Это приспособления Палля, Берля. Связан данный факт с тем, что кольца Рашига очень просты, не имеют никаких дополнительных устройств. Но в этом и их плюс, так как насадки достаточно легки в изготовлении и дешевые. Сегодня они достаточно широко используются на практике и чаще всего употребляются на многих предприятиях [14-15].

## **1.2 Изменение состава и структуры схемы фракционирования и интеграция потоков**

Снижение энергетических затрат можно обеспечить путем модификации технологической схемы. В патенте RU2191800C2 (рисунок 7) в качестве подогретого потока, подаваемого в куб колонны 1, используют вместо горячей струи, которая имеет низкую долю отгона, более половины потока нефти, подогреваемого в печи 2. Тем самым удастся существенно поднять паровые и жидкостные нагрузки в колонне. Стабилизация бензиновых фракций обеих колонн осуществляется выводом тяжелой бензиновой фракции из колонны 5 в колонну 1 с помощью бокового погона в отпарную секцию. Кроме того, это позволяет вывести из колонны 1 боковой погон и подать в колонну 5. Все это позволяет разгрузить обе колонны [15].

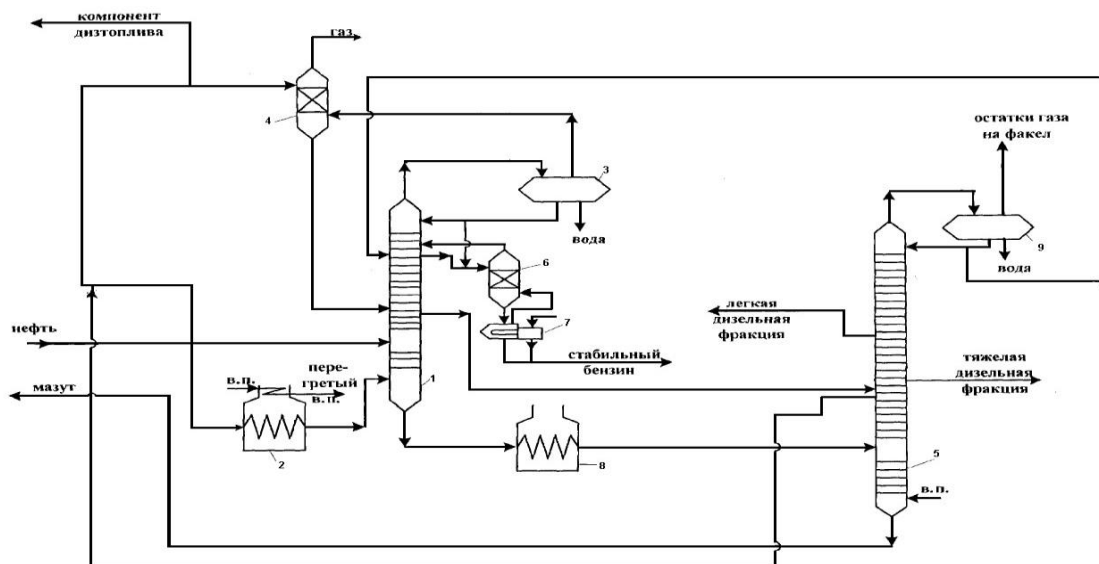


Рисунок 7 - Технологическая схема перегонки нефти

1-колонна частичного отбензинивания нефти; 2,8- печи; 3,9-емкость орошения; 4- абсорбер; 5- сложная атмосферная колонна; 6- отпарная секция; 7- кипятыльник.

В патенте RU2100403C1 представлена схема фракционирования нефти, на рисунке 8 [11]. Эффект достигается тем, что на стадии рекуперативного нагрева нефти осуществляется многоступенчатый отвод паров фракций. Направленные фракции направляют на подогрев нефти. Один из рекуперативных нагревателей выполнен в виде фракционирующего конденсатора.

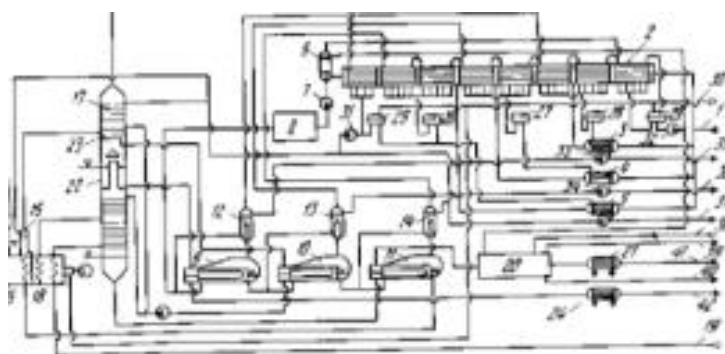


Рисунок 8 - Технологическая схема фракционирования нефти

На рисунке 9, представлена технологическая схема (патент RU №2205055 «Установка атмосферной перегонки нефти»). Установка составлена из двух последовательно соединенных двух и трех (четырёх) секционных атмосферных дистилляционных колонн. Использование данной конструкции



в проекте нежелательно из-за недостатков, в числе которых использование большого числа нагревателей и отпарных колонн, отсутствие рекуперации тепла, и как следствие, общие высокие энергетические затраты.

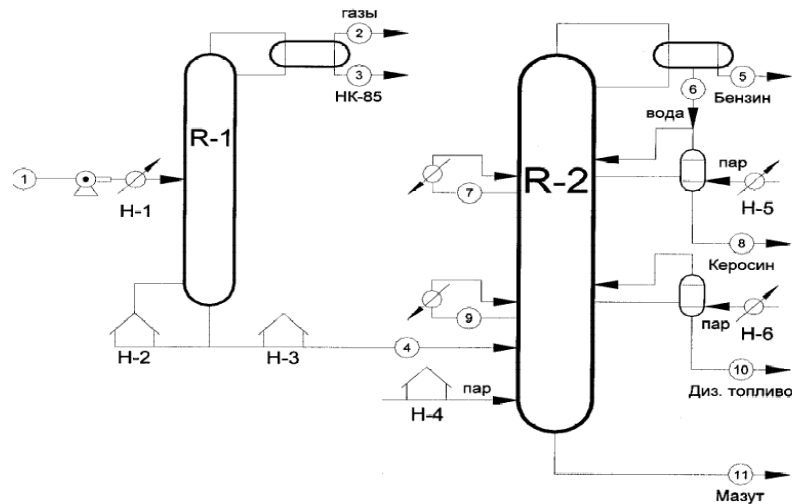


Рисунок 9 - Установка первичной нефтепереработки АТ, АВТ.

Ректификация является термодинамически необратимым процессом, значит для энергосбережения необходимо приблизить процесс к термодинамически обратимому.

Схемы с полностью или же частично связанными тепловыми и материальными потоками, по сравнению с классическими схемами фракционирования нефти, позволяют снизить энергозатраты до 50% [16].

DWC колонна [13] с разделительной стенкой. Колонна разделяется на секции: префракционирования и основную секцию разделения (все это в одном корпусе). Преимуществом данной схемы является то, что исходная смесь может быть разделена на чистые продуктовые потоки с использованием одного ребойлера, одной колонны, и одного конденсатора.

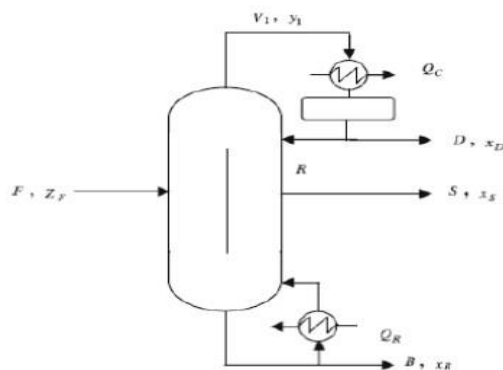


Рисунок 10 - DWC схема ректификации с разделительной стенкой

Недостатком колонн с разделительной стенкой является наличие большого количества степеней свободы, и это влечет за собой сложность управления и проектирования.

### 1.3 Использование теплового насоса

Тепловой насос в первую очередь используется для экономии тепла при ректификации смеси с использованием одной колонны. В представленной на рисунке 9 схеме паровой продукт колонны сжимается в компрессоре, что позволяет использовать его в качестве греющего агента в кипятильнице той же колонны. Использование компрессора позволяет достичь температуры пара, выше температуры в кипятильнике, что делает возможным рационально направленный теплоперенос в кипятильнике.

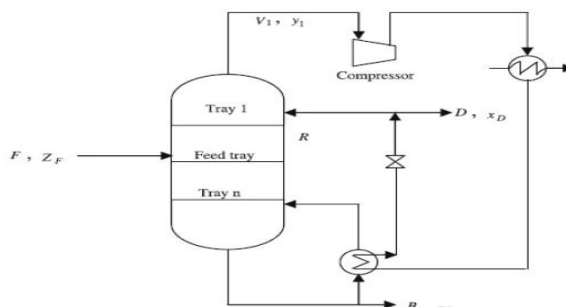


Рисунок 11 - Использование теплового насоса в традиционной схеме ректификации

Использование принципа теплового насоса возможно и в более сложных схемах. Так, например, в схемах многокомпонентной ректификации тепло конденсации паров верха одной колонны может быть использовано для подогрева куба следующей колонны (рисунок 12).

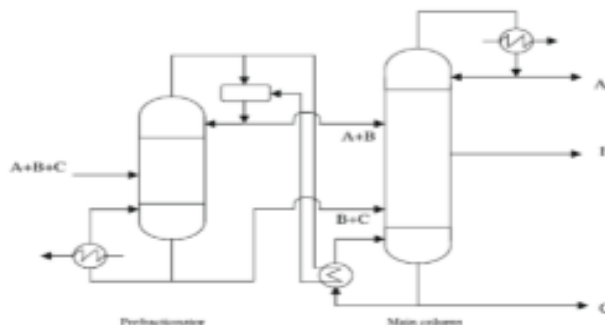


Рисунок 12 - Использование теплового насоса в схеме многократной ректификации

Было доказано, что данные методы интеграции значительно снижают энергозатраты [16, 17, 18]. Однако трудности промышленного внедрения данных методов энергосбережения заключаются в сложности управления, нелинейности, множественности стационарных состояний процесса. Экспериментальные и расчетные методы определения товарных свойств моторных топлив. Коммерческие симуляторы химико-технологических процессов и систем.

#### 1.4 Характеристики и методы определения товарных свойств моторных топлив

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
Цетановое число, не менее	51,0
Цетановый индекс, не менее	46,0
Плотность при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	820,0-845,0
Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %, не более	8,0
Массовая доля серы, мг/кг, не более, для топлива	

К3	350,0
К4	50,0
К5	10,0
Температура вспышки в закрытом тигле, оС , выше	55
Коксуемость 10%-ного остатка разгонки, % масс., не более	0,3
Зольность, % масс., не более	0,01
Массовая доля воды, мг/кг, не более	200
Общее загрязнение, мг/кг, не более	24
Смазывающая способность: скорректирован диаметр пятна износа при 60°С, мкм, не более	460
Кинематическая вязкость при 40°С, мм <sup>2</sup> /с	2,000-4,500
<b>Фракционный состав</b>	
при t 250°С, % об., менее	65
при t 350°С, % об., менее	85
95 % об., перегоняется при t,°С, не выше	360
Содержание метиловых эфиров жирных кислот, % 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 °С. Ещё одной проблемой

является повышенное содержание воды в дизельном топливе. Вода отслаивается при хранении дизтоплива и собирается внизу, так как плотность дизтоплива меньше 1 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 °С для летних сортов в пределах 3,0÷6,0 сСт, для зимних сортов 1,8÷5,0 сСт, для арктических 1,5÷4,0 сСт. Этот стандарт требует также отсутствия воды во всех марках топлива.

**Воспламеняемость.** Основным показателем 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 °С. 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 (RS-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).

## 2 Современные системы автоматизированного проектирования

Компьютерные программы моделирования химико-технологических систем являются современным инструментом расчета оптимальных технологических параметров, что особенно актуально в ситуации изменения качества сырья.

Возможность прогнозировать характеристики товарных продуктов позволяет осуществлять оптимальное управление качеством продуктов в режиме реального времени.

САПР - сложный комплекс средств, предназначенный для автоматизации проектирования. Он осуществляет эффективное и качественное выполнение инженерных работ на нефтегазовом предприятии, позволяющий сократить срок их выполнения.



Рисунок 13 - Задачи, решаемые в нефтегазовой отрасли комплексной САПР

Расчёты в любой САПР содержат обязательные этапы:

- ввод исходных данных;
- формирование технологической схемы;
- расчёт свойств потоков (программа осуществляет самостоятельно);
- расчёт преобразователей потоков (аппаратов схемы);
- организация вывода результатов расчета.

Часто используют системы, позволяющие создать единую информационную модель проекта, с которой работали бы различные специализированные САПР. Причем такая система должна не только обеспечивать передачу инженерной информации, но и быть хранилищем данных с возможностью организации документооборота. Что позволит сопровождать объект проектирования на протяжении всего жизненного цикла, начиная со стадии проекта и заканчивая эксплуатацией.

К ведущим коммерческим симуляторам можно отнести САПР перечисленные ниже.

- AspenTech

Поставщик интеллектуальных программных продуктов и сервисов управления проектирования для ХТ промышленности.

- AurelSystems

ПО для проектирования, модернизации, управления и оптимизации новых или действующих процессов. Открытый банк углеводородов.

- BryanResearch&Engineering, Inc.

Поставщик программных продуктов ProMax с модулем TSWEET и PROSIM. Моделирующие программные продукты, используются для проектирования и оптимизации газо-нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств.

- DESIGNIIforWindowsProcessSimulation

Точное моделирование химических и нефтехимических процессов, включая подготовку, разделение и переработку нефти и газа, кристаллизацию, а так же расчёт трубопроводов.

- VirtualMaterialsGroupInc

Предлагают ПО для моделирования процессов нефтяной, газовой и химической промышленности.

- ComputinginTechnologyGmbH

Разработчик ПО в сфере химических расчётов, моделирование кинетики и промышленной кристаллизации.

- IDEAS Simulation Inc.

Программный комплекс для стационарного и динамического моделирования различных ХТ производств.

- PFD: Dynochem

ПО для инженеров-проектировщиков в сфере ХТ.

Предназначено для моделирования и масштабирования аппаратуры органического синтеза в периодической промышленности.

- ProSim

ПО для моделирования процессов, предназначенных для химической, нефтехимической и фармацевтической промышленности.

- HYSYS

Компьютерная система, предназначенная для моделирования и оптимизации химико-технологических процессов.

## **2.1 Технологическое проектирование ректификации с использованием САПР Unisim Design**

UniSimDesign используют в нефтегазовых, нефтеперерабатывающих, нефтехимических, химических и энергетических отраслях для моделирования технологических процессов на промышленных предприятиях, которое помогает повысить эффективность проектирования и оптимизировать разрабатываемые решения.

Пакет UniSimDesign помогает инженерам в создании стационарных и динамических моделей для проектирования и оптимизации промышленных установок и систем управления, анализа нештатных ситуаций и рисков, оценки систем безопасности, мониторинга рабочих показателей, устранения



неполадок, улучшения эксплуатационных качеств, планирования бизнеса и управления активами. Преимущества систем моделирования технологических процессов также доказаны на практике: они позволяют повысить эффективность проектирования на 20% за счет лучших в своем классе инструментов управления рабочими процессами и добиться экономии капитальных затрат на 30% за счет надлежащего выбора материалов при проектировании систем безопасности.

### 2.1.1 Honeywell's UniSim® Design

Представляет собой программный продукт, предназначенный для моделирования в стационарном режиме, проектирования химико-технологических производств, контроля производительности оборудования, оптимизации и бизнес планирования в области добычи и переработки углеводородов и нефтехимии.

### 2.1.2 Среда Unisim Design



Архитектура интерфейса Unisim Design. «Диспетчер базиса» - Среда базиса – в ней пользователь выбирает вещества, с которыми будет в дальнейшем работать модели и корреляции, по которым рассчитываются различные (физические, термодинамические) свойства веществ, материальных и тепловых потоков.

«Характеризация нефти» - вкладка позволяет ввести имеющиеся данные о нефти и разбить её на псевдо - компоненты.

«Главная расчётная среда» - это редактор технологических схем и интерфейс для расчёта. Содержит большой набор аппаратов ХТС.


Основные функциональные клавиши Unisim Design представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Основные функциональные клавиши Unisim Design

Название	Кнопка	Описание
Новая задача		Создает новую задачу
Открыть задачу		Позволяет найти и открыть уже существующую задачу/шаблон/колонну

Запомнить задачу		Записывает на диск текущую активную задачу
PFD (process flow diagram)		Открывает графический экран текущей схемы
Рабочая тетрадь		Открывает рабочую тетрадь текущей схемы
Навигатор		Осуществляет доступ к навигатору объектов схем
Навигатор схемы		Осуществляет доступ к навигатору схем
Динамический помощник		Осуществляет доступ к программе в динамическом режиме.
Колонна		Открывает специализированное окно колонны
Стационарный/динамический		Осуществляет переключение между стационарным и динамическим режимами работы
Активный Ожидание Пуск/Останов (стационарный режим)		В главной среде: осуществляет переключение между активным режимом и режимом ожидания. Зеленый (левый) - активный. В среде колонны: производит пуск/остановку расчета колонны. Зеленый (левый) - пуск.
Интегратор (динамический режим)		Осуществляет запуск и остановку интегратора - расчётной программы динамического режима. Зеленый (левый) - пуск.
Базис		Вход в среду базиса.
Родительская схема		Осуществляет возврат из подсхемы в родительскую схему, например, из подсхемы колонны в главную схему.
Среда нефтяного пакета		Осуществляет вход в среду нефтяного пакета из среды базиса.
Выход из среды		Если Вы находитесь в нефтяном пакете - возврат в среду базиса, если в среде базиса - возврат в основную среду.

### 2.1.3 Работа с диспетчером базиса

Диспетчер, или среда базиса  - это первая часть интерфейса Unisim Design. В этой среде необходимо описать химические вещества, их превращения и термодинамику моделируемой системы.

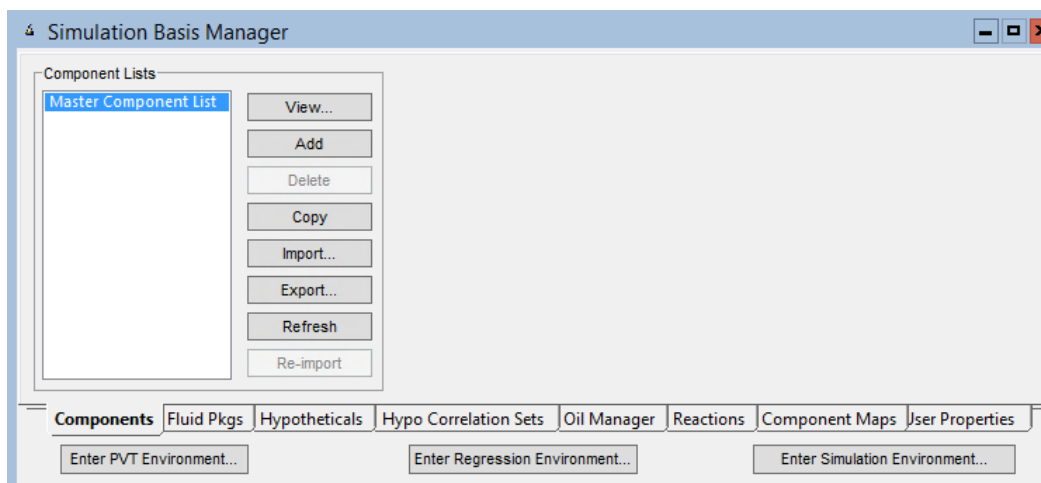


Рисунок 14 -Среда базиса: Основные задачи

### 2.1.4 Выбор компонентов

Стандартная библиотека компонентов в UnisimDesign очень велика. Компоненты в ней разбиты на 2 группы: традиционные и гипотетические.

Компоненты добавляются во вкладке «Components». Этой вкладкой пользуются, когда компоненты представляют собой конкретные химические вещества. На рисунке 15 представлено окно выбора компонентов. Выбор компонентов осуществляется из достаточно большой базы данных по компонентам. Поиск в базе данных можно выполнять по названию, или химической формуле вещества. Можно применить фильтры поиска - по типу веществ и нужному термодинамическому пакету.

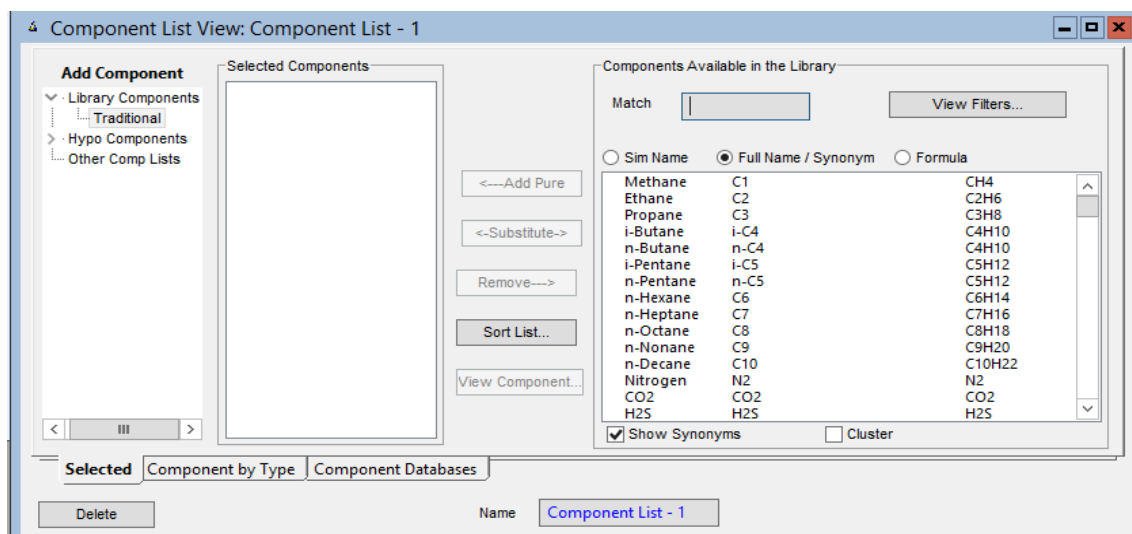


Рисунок 15 - Окно выбора компонентов

### 2.1.5 Выбор термодинамической модели

Термодинамическое поведение веществ и их фазовые состояния описывается набором сложных уравнений, связывающих между собой параметры состояния вещества (температура, давление, объём) и термодинамические характеристики (константы фазового равновесия, энтальпию, энтропию, плотность и др.).

В Unisim Design термодинамические модели разделены на следующие группы (рисунок 16):

Уравнения состояния (свойства идеальных систем);

Модели активности (расчёт констант фазового равновесия неидеальных систем с учётом межмолекулярного взаимодействия);

Обобщенные корреляции (метод расчёта констант фазового равновесия Чао Сидера, метод расчёта плотности жидкости API и другие эмпирические методы);

Модели упругости паров (свойства димеризующихся веществ);

Прочие модели (специальные пакеты Unisim Design и т.п.).

Находим вкладку «Selected». Кликаем кнопку «Добавить» и добавляем подходящий пакет свойств из списка.

Вкладка «Parameters» - выбор вариантов расчёта тех, или иных характеристик веществ (как правило, выбор делается автоматически, однако, в случае необходимости можно изменить нужные значения).

Вкладка «Parameters2» - значения коэффициентов межмолекулярного взаимодействия. Значения рассчитываются автоматически в зависимости от набора компонентов и выбранного термодинамического пакета.

Вкладка «Reactions» - если в системе протекают химические реакции, их необходимо добавить к пакету свойств (иначе термодинамика их протекания не будет учтена).

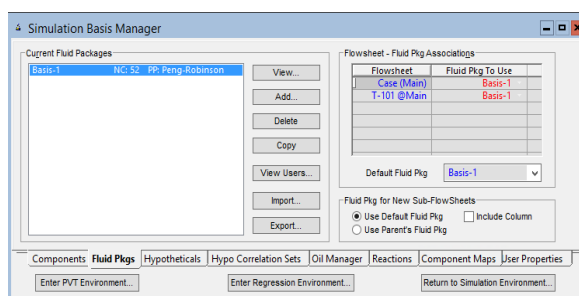


Рисунок 16 - Группы термодинамических моделей. Вкладки в окне «Fluid Pkgs» содержат ряд параметров.

### 2.1.6 Диспетчер нефти

Это специальная среда для задания фракционного состава и других результатов лабораторного исследования образца нефти.

После выбора термодинамического пакета переходим к вкладке «Simulation basis manager», содержащую кнопку «Enter Oil Environment». Нажимаем кнопку.

Ввод данных о нефти. В появившемся окне «Oil Characterization» → «Assay» нажимаем кнопку «Add» (рисунок 17). В открывшемся окне необходимо выбрать свойства из предлагаемого ассортимента и задать их значения.

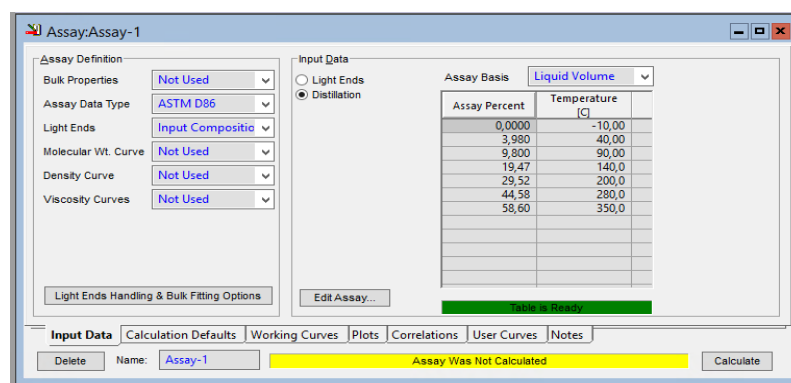
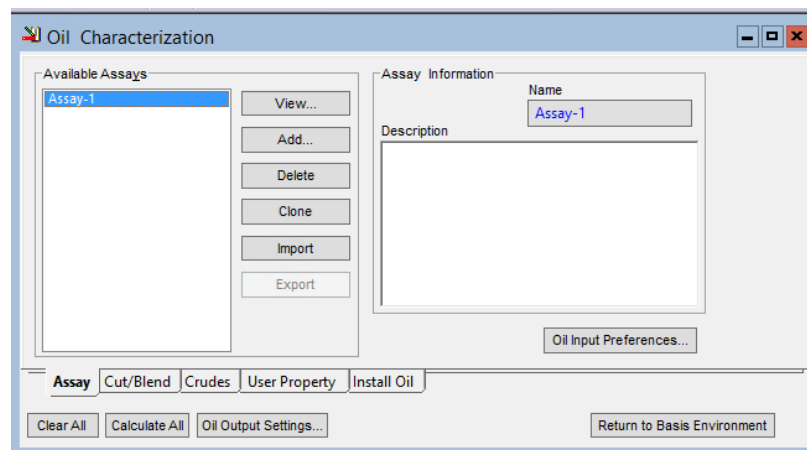


Рисунок 17 - Характеризация нефти

Выбор осуществляется в поле «**Определение пробы**».



**Свойства образца нефти** (плотность, вязкость, молекулярный вес). При их наличии выбираем Used, при отсутствии - Not used.

**Тип данных** - вид кривой разгонки - выбираем из списка ИТК.

**Кривые молекулярного веса, плотности и вязкости** выбираем «зависимые» (в этом случае значения свойств получены для тех же долей отгона, что и кривая разгонки).

Значения имеющихся данных вводятся в поле «**Input Data**». Для обозначения концов кипения на кривой ИТК должны быть точки, соответствующие долям отгона 1 и 100 %. Минимальное необходимое для расчёта количество точек - 5. После ввода всех данных нажимаем кнопку «**Calculation defaults**».

После расчёта на вкладке «**Design curves**» становятся доступным и кривая разгонки по ИТК, кривые плотности, молекулярного веса, вязкости. Та же информация в графическом виде доступна на вкладке «**Graphs**».

Возвращаемся в «Диспетчер базиса»  Нажав соответствующую кнопку  переходим в «расчётную среду» для составления схемы потоков PFD [18].

### **2.1.7 Создание и расчёт технологической схемы**

На этом этапе необходимо составить технологическую схему из предоставляемого набора аппаратов и потоков, установить взаимосвязи между ними. Вход и выход из режима расчета схемы осуществляется нажатием соответствующей кнопки на панели инструментов.

Предлагаемый набор аппаратов содержит большинство используемых в химической промышленности аппаратов: циклоны, смесители, несколько видов ректификационных колонн, абсорберов, сепараторов, химических реакторов, а так же различные элементы управления. Таким образом имеется возможность моделировать не только относительно простые схемы газоразделения, первичной перегонки нефти, но и куда более сложные, в т.ч. и химические процессы с участием 3-х фаз. Расчёт происходит итерационно.

Исходными данными служат параметры потоков и аппаратов, задаваемые при составлении технологической схемы в меню конкретного аппарата, или потока. Расчёты можно проводить как в стационарном, так и в динамическом режимах.

Предусмотрена возможность проводить конструктивные расчёты. В программу заложены наборы стандартных размеров различных конструктивных элементов, на которые пересчитываются значения, полученные из предварительных расчетов.

Нажав  мы откроем доступные потоки и аппараты:

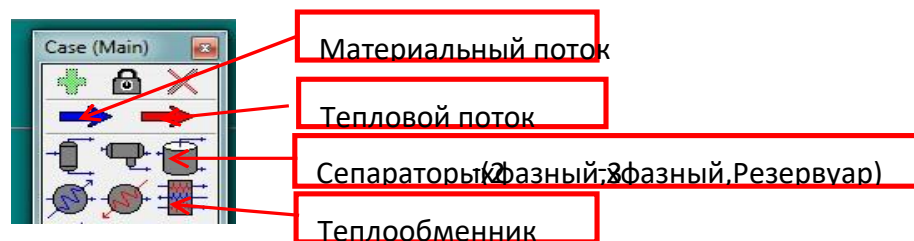











Рисунок 18- Часть инструментария в PFD


Для работы в расчетной среде существует свой набор функциональных кнопок:

Таблица 4 - Набор функциональных кнопок расчетной среды UnisimDesign

Название кнопки	Кнопка	Функция
Перемещение/ Соединение (Move/Attach)		Эта кнопка управляет двумя режимами графического интерфейса. Режим Перемещение (Move), заданный по умолчанию, позволяет перемещать операторы и потоки. Когда эта кнопка нажата, Вы находитесь в режиме Соединение (Attach), который позволяет соединять потоки и операции.
Размеры (Size)		В этом режиме Вы можете изменять размеры выбранного объекта. Этот объект оказывается окруженным рамкой, которая, в свою очередь, имеет по периметру восемь небольших белых прямоугольников. С помощью мыши можно перемещать эти прямоугольники по соответствующим направлениям, меняя тем самым размеры объекта.
Разрыв соединения (BreakConnections)		Когда эта кнопка нажата, Вы можете разорвать соединение между потоком и операцией. При нажатой кнопке курсор мыши меняет форму. С помощью левой кнопки выберите любой участок потока между изображением потока и изображением операции, и соответствующее соединение окажется разорванным.
Переключение соединения (Swap Connections)		Если два потока подсоединены к штуцерам одного оператора, то они меняются местами.
Увеличительное стекло (DragZoom)		При нажатии этой кнопки курсор принимает форму увеличительного стекла. Удерживая левую кнопку мыши, очертите ту часть схемы, масштаб которой предполагается изменить. Для изменения масштаба можно воспользоваться также инспекцией экрана PFD: выберите Режим (Mode) и затем -Масштаб (Zoom), либо выбрать пункт меню PFD-Увеличительное стекло ( DragZoom).



Добавить описание (AddText Annotation)		Эта кнопка позволяет добавить текстовое описание к графическому изображению схемы. Когда кнопка нажата, курсор изменяет свой вид и появляется прямоугольная рамка. Установите рамку на тот участок, где должен быть помещен текст, нажмите левую кнопку мыши и введите необходимый текст в появившееся диалоговое окно.
Схема цветов (ColourScheme)		С помощью этой кнопки выбирается схема цветов графического экрана.
Ускоренная маршрутизация (QuickRoute)		Этот режим позволяет быстро переносить изображения операций схемы вместе с соединенными потоками. При этом соединительные линии могут накладываться на изображения операций. При отключении кнопки схема будет автоматически перерисована таким образом, что линии не будут накладываться на картинки.
Панель объектов (Касса объектов)		Панель объектов содержит всевозможные объекты технологической схемы. При нажатии этой кнопки отображается/скрывается панель объектов.

Можно проверить соответствие заданных спецификаций исходным данным, и в случае несоответствия, задать дополнительные, или убрать ряд имеющихся. После этой процедуры необходимо перейти в режим расчёта и нажать кнопку «Пуск»  в окне колонны - запустится расчёт. В случае правильно заданных спецификаций, статус объекта (колонны) смениться на «Сошёлся» [19].

### 2.1.8 Окно колонны

При выборе спецификаций число степеней свободы должно быть равным 0. Это достигается установкой/снятием галочки «активная» в типе спецификации. Расчёт ведётся до тех пор, пока введенные значения для активных спецификаций не совпадут с рассчитанными в UnisimDesign.

Примерный набор спецификаций показан на рисунке. Если долго считается - плохие начальные приближения или неверно заданы спецификации.

### 2.1.9 Вывод результатов

Возможны 2 варианта вывода результатов:

**Первый** - просмотр результатов в окне объекта.

Необходимо провести поиск интересующих результатов во вкладках и закладках окна интересующего объекта. Способ подходит, если объём требуемых результатов не велик.

Второй - осуществляется путём создания отчётов. Содержание отчётов задаёт пользователь, включая, или исключая из них соответствующие таблицы и этапы расчёта. Имеется возможность экспорта данных (таблиц, графиков, технологических схем) в сторонние приложения. Отчёты так же можно сохранять в файл. Находим в меню «Инструменты» → «Отчёты». Кликаем кнопку «Создать» и «Добавить таблицу».

Таблицы содержат всевозможные свойства потоков (и тепловые в том числе), операции (расчёт аппарата), профили и т.д. Набор выводимых параметров нужно сформировать.

При формировании таблиц обращаем внимание на их содержание (структура таблиц для объекта полностью соответствует меню объекта в расчётной среде). Добавляем всё, что нам необходимо из предложенного списка и печатаем, либо сохраняем в файл [20].

### **3 Постановка задачи исследования**

#### **3.1 Объект и методы исследования**

Объектом исследования является атмосферная колонна фракционирования нефти, оборудованная различными типами контактных устройств. Метод исследования - математическое моделирование различных типов ректификационных колонн в среде Unisim Design.

#### **3.2 Постановка задачи**

Энергосбережение наряду с поиском оптимальных режимов эксплуатации установок фракционирования является ключом к эффективной работе производства.

Достижение этих целей проще и с меньшими затратами осуществляется на этапе проектирования и конструирования.

Процесс фракционирования нефти состоит из стадий, на каждой из которых производится определенное воздействие на материальные потоки и превращение энергии. Соединение элементов обеспечивает моделирование технологической схемы с соответствующими превращениями в системе.

Также возможна оптимизация энергопотребления действующей установки путем замены контактных устройств на более эффективные в период планового ремонта. Для предварительной оценки и выбора наиболее эффективных контактных устройств целесообразно использовать системы автоматизированного проектирования (САПР).

Целью работы был выбор конструктивных и технологических параметров, обеспечивающих заданное качество дизельной фракции с наименьшими суммарными (эксплуатационными и капитальными) затратами.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. На основе исходных данных в UniSimDesign построить две модели колонн фракционирования нефти:

- а) Колонна отбензинивания;
- б) Колонна перегонки под атмосферным давлением

2. Построить двухколонную схему

Выполнить анализ эффективности тарелок и насадок различных типов.  
Дать рекомендации по повышению эффективности работы схемы.

## 4 Экспериментальная часть

### 4.1 Моделирование схем фракционирования

#### 4.1.1 Исходные данные

Расчет моделей схем фракционирования проводился с использованием универсальной системы моделирования UnisimDesign.

В качестве исходных данных используем данные о фракционном составе сырой нефти, значения расходов и требований к продуктам (таблицы 5-7).

Таблица 5 - Исходные данные

Расход питания, т/час	18
Температура питания, С	280
Давление потока питания кПа	150
Давление верх/низ, кПа	120/180
Требования к продуктам:	
Дистиллят	нк 220
Содержание «легких» в кубе	≤0,5%
Содержание «тяжелых» в дистилляте	≤0,5%

Таблица 6 - Фракционный состав нефти

Температура выкипания фракции, С	Выход на нефть, % об. суммарный
Газ до С4	
40	3,98
90	9,80
140	19,47
200	29,52
280	44,58
350	58,60

Таблица 7 - Состав газовой части

Газовая часть	% об.
Метан	0,0065
Этан	0,0225

Пропан	0,3200
Изобутан	0,24
Бутан	0,82
Вода	0,00

Оценка товарных свойств бокового погона (дизельной фракции). Выбор наиболее эффективной тарельчатой/насадочной колонны / насадочной колонны.

#### 4.1.2 Моделирование колонны отбензинивания

Известные величины вводятся в соответствующие поля программы. Расчет углеводородных систем производится методом уравнения состояния Peng-Robinson (так как он более точно описывает углеводородные системы в диапазоне умеренных температур и давлений). Метод перегонки нефтепродуктов выбран стандартный - ASTM D86 при атмосферном давлении. Модель колонны DistillationColum с дефлегматором и кипятильником. Колонна отбензинивания представлена на рисунке 19.

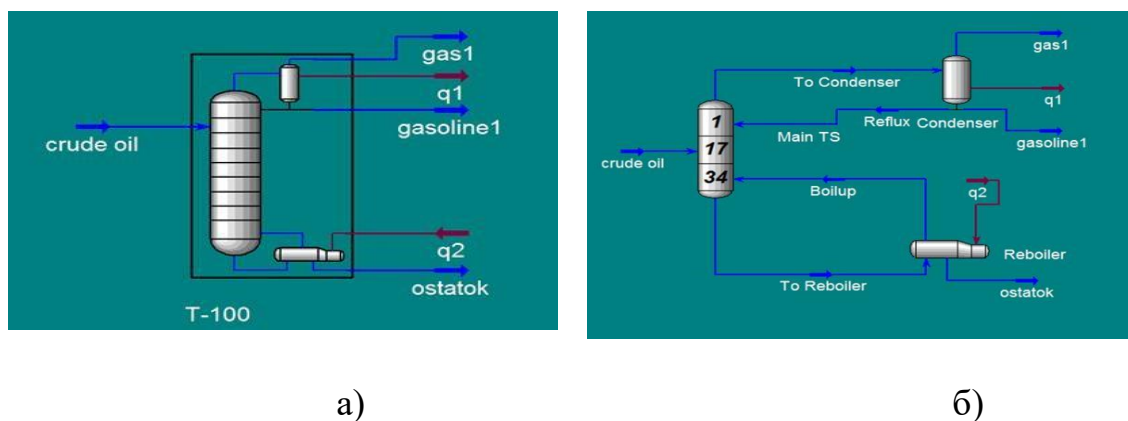


Рисунок 19 - а - Схема колонны отбензинивания; б - схема колонны отбензинивания в развернутом виде

Заглянув в соответствующие области программы можно получить данные по колонне:

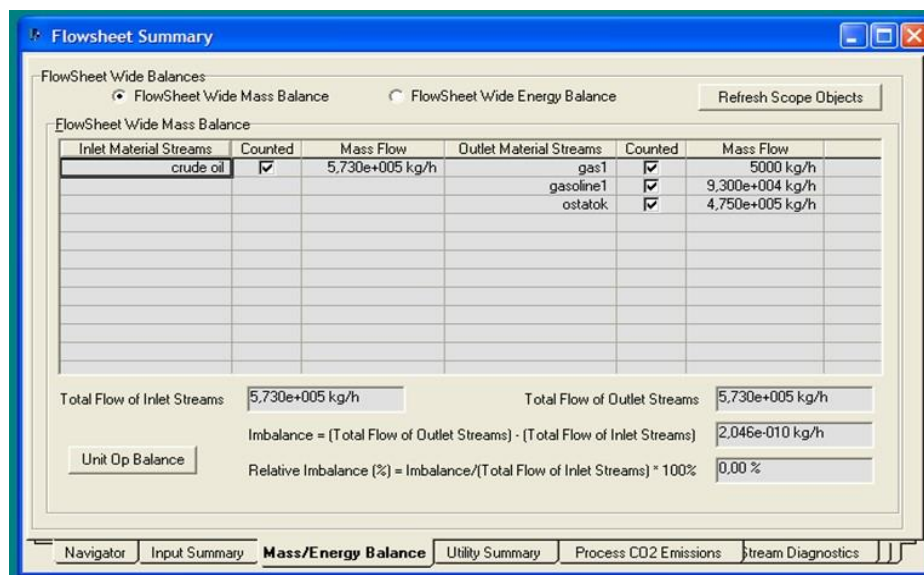


Рисунок 20 - Материальный баланс колонны отбензинивания

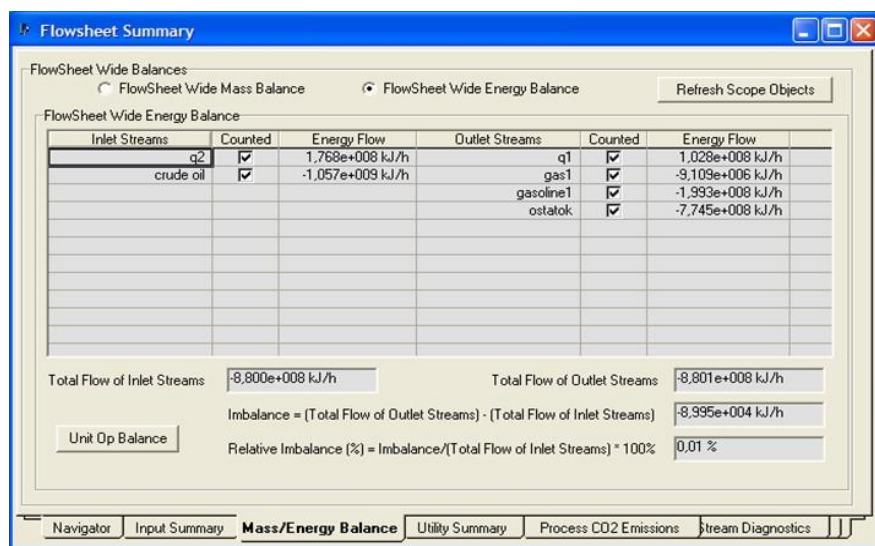


Рисунок 21 - Тепловой баланс колонны отбензинивания

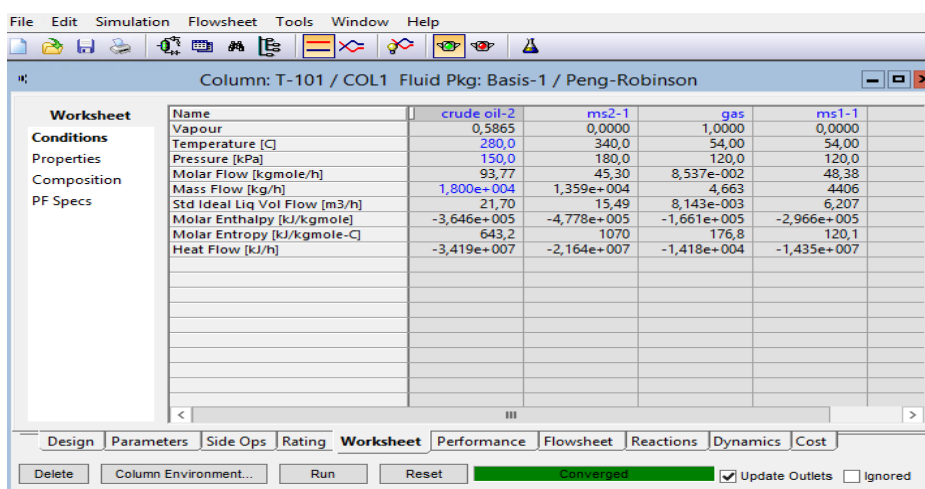


Рисунок 22 - Технологические условия потоков колонны отбензинивания

Worksheet	crude oil-2	ms2-1	gas	ms1-1
Conditions				
Properties				
Composition				
PF Specs				
Methane	0,000281	0,000000	0,080154	0,000403
Ethane	0,000516	0,000000	0,048302	0,001109
Propane	0,005110	0,000000	0,220611	0,016103
i-Butane	0,005371	0,000000	0,058693	0,010305
n-Butane	0,019044	0,000000	0,159238	0,036626
H2O	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
NBP(0)8°	0,013158	0,000000	0,070682	0,025375
NBP(0)22°	0,026268	0,000000	0,098691	0,050733
NBP(0)35°	0,029043	0,000000	0,077031	0,056148
NBP(0)50°	0,032329	0,000000	0,057401	0,062551
NBP(0)65°	0,041139	0,000000	0,046505	0,079643
NBP(0)77°	0,052147	0,000000	0,039805	0,100989
NBP(0)92°	0,031897	0,000000	0,015156	0,061789
NBP(0)108°	0,044583	0,000000	0,012179	0,086378
NBP(0)121°	0,040266	0,000000	0,007901	0,089647
NBP(0)135°	0,039499	0,000000	0,003950	0,076541
NBP(0)149°	0,034449	0,000001	0,001957	0,066756
NBP(0)163°	0,031690	0,000006	0,000995	0,061407
NBP(0)178°	0,029798	0,000085	0,000502	0,057667
NBP(0)192°	0,029077	0,003861	0,000233	0,052921
NBP(0)206°	0,028994	0,052712	0,000015	0,006840
NBP(0)220°	0,028330	0,058570	0,000000	0,000069
NBP(0)235°	0,027169	0,056240	0,000000	0,000001
NBP(0)249°	0,026095	0,054018	0,000000	0,000000
NBP(0)263°	0,024926	0,051598	0,000000	0,000000
NBP(0)277°	0,023996	0,049673	0,000000	0,000000
NBP(0)292°	0,023254	0,048136	0,000000	0,000000
NBP(0)306°	0,022972	0,047553	0,000000	0,000000
NBP(0)320°	0,023245	0,048118	0,000000	0,000000
NBP(0)334°	0,022864	0,047330	0,000000	0,000000
NBP(0)349°	0,021956	0,045451	0,000000	0,000000
NBP(0)363°	0,020363	0,042152	0,000000	0,000000
NBP(0)377°	0,018889	0,039101	0,000000	0,000000
NBP(0)391°	0,017825	0,036898	0,000000	0,000000

Рисунок 23 - Составы потоков колонны отбензинивания

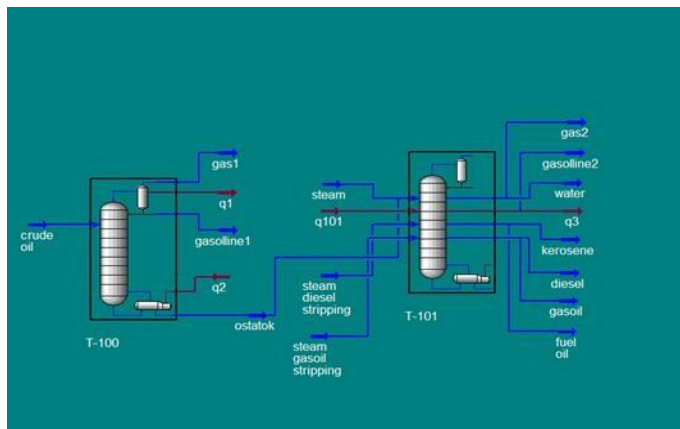


Рисунок 24 - Сложная колонна

Установка атмосферной перегонки, двухколонная, по числу основных колонн: первая - простая, вторая – сложная (три внешние отпарные колонны). До поступления в первую ректификационную колонну отбензинивания нефти, нефть нагревается в теплообменнике. Верхним продуктом первой колонны является легкая бензиновая фракция и небольшое количество газа. Остальные дистилляты, выводимые с установки, получаем во второй колонне.

Во 2-ой колонне применяем промежуточное циркуляционное орошение, оно рационально использует избыточное тепло колонны для подогрева нефти,



при этом выравниваются нагрузки по высоте колонны, что обеспечивает оптимальные условия ее работы.

Заглянув в соответствующие области программы можно получить данные по колонне:

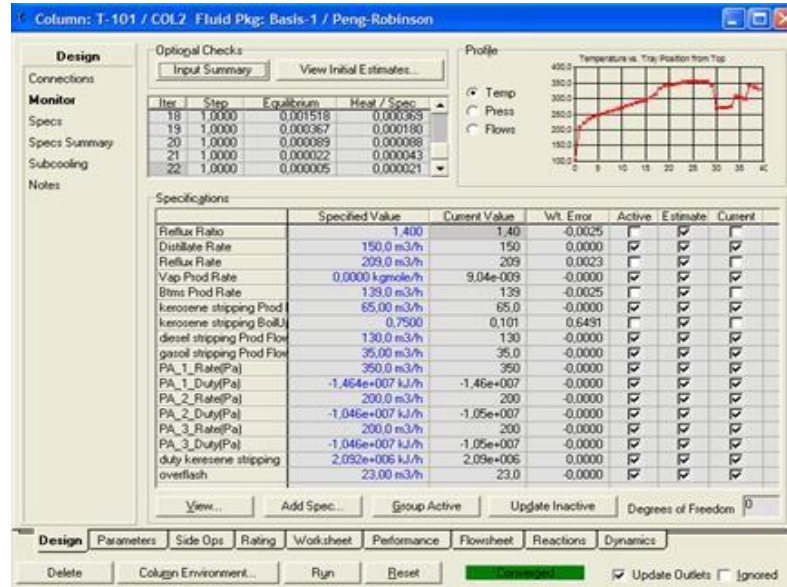


Рисунок 25 - Основные спецификации колонны атмосферной перегонки нефти (профиль давления)

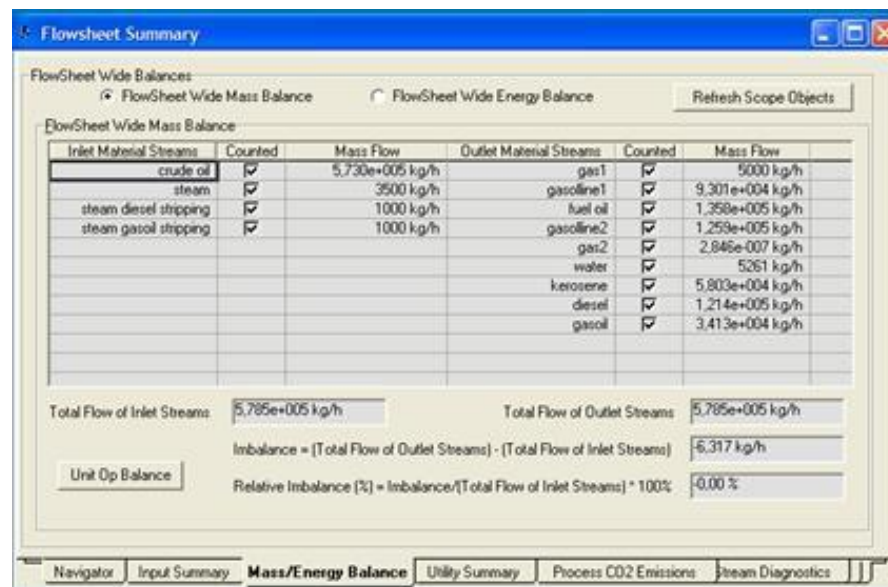


Рисунок 26 - Материальный баланс установки перегонки нефти

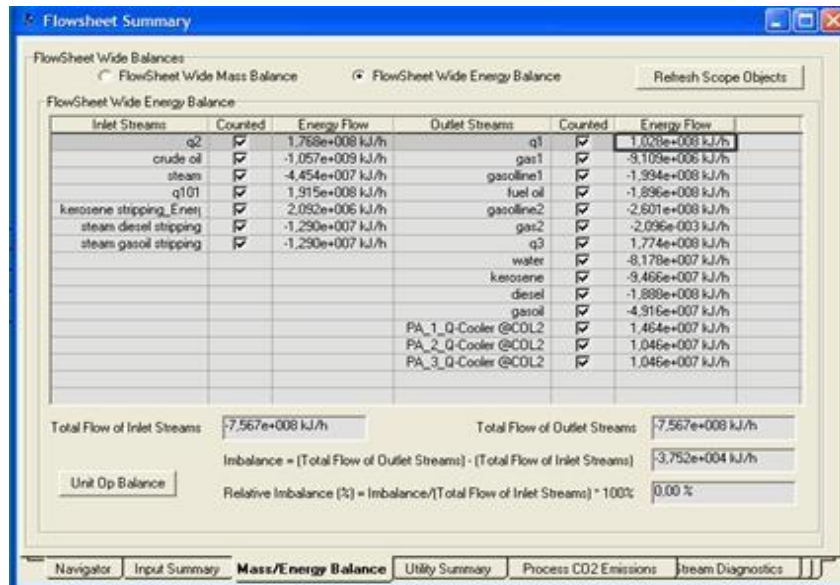


Рисунок 27- Тепловой баланс установки перегонки нефти

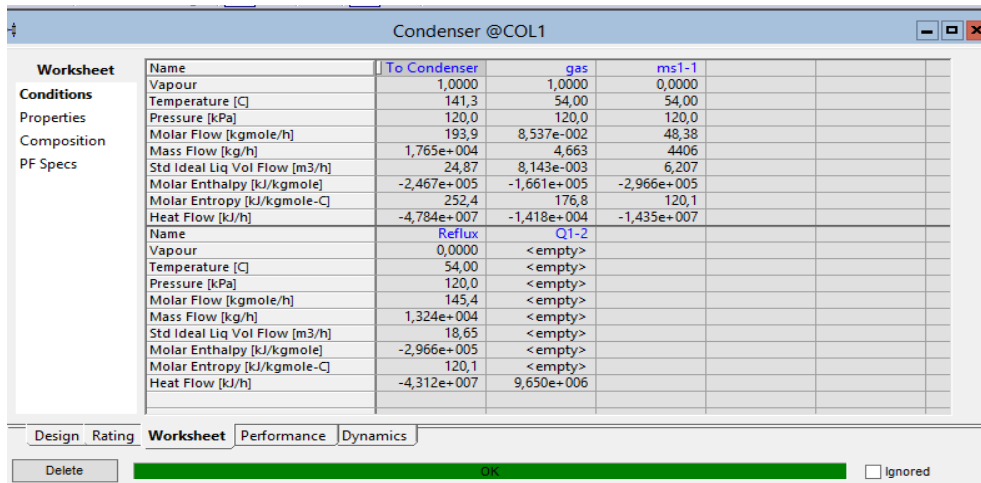


Рисунок 28 - Технологические условия потоков установки перегонки нефти

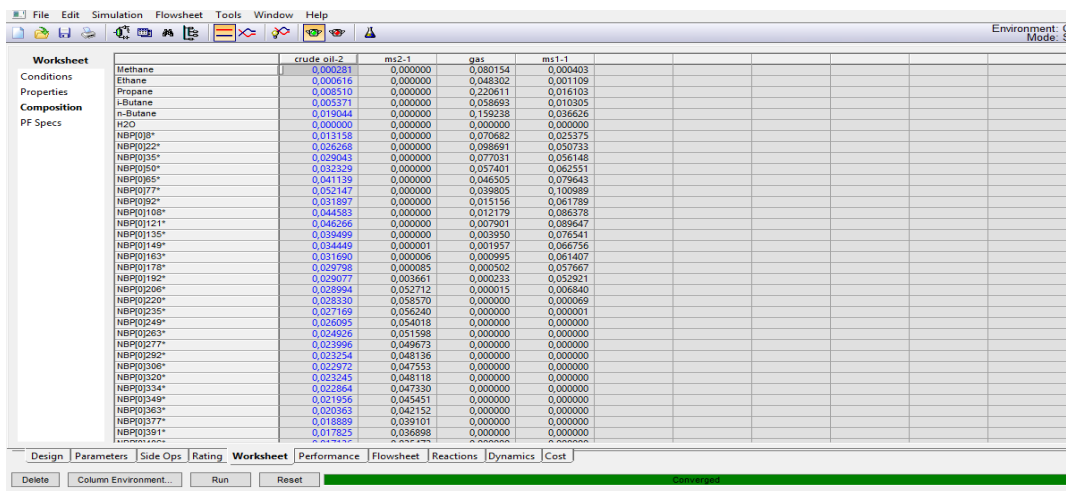


Рисунок 29 - Составы потоков установки перегонки нефти

### 4.1.3 «TraySizing»

При помощи утилиты «TraySizing» можно выполнить расчет тарельчатой секции. По умолчанию добавляется вся тарельчатая секция аппарата, но при необходимости её можно разбить на несколько подсекций, включив в них не все тарелки, а только нужное их количество.

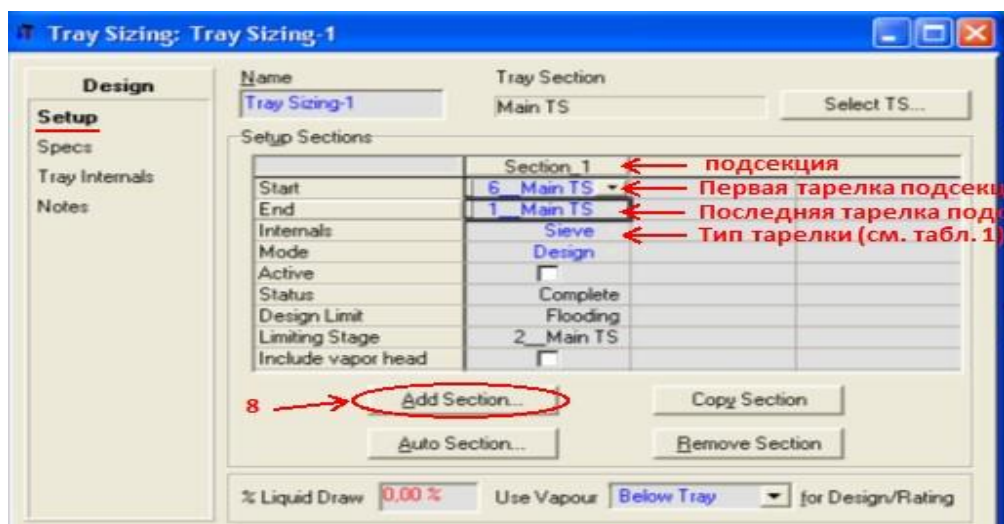


Рисунок 30- Расчет тарельчатой секции

Выбор типа тарелок осуществляется исходя из соотношений мольных расходов пара и жидкости на тарелке.

На рисунке 31 показаны результаты, которые доступны после выполнения расчета (диаметр и высота секции, гидравлические и конструктивные характеристики тарелок).

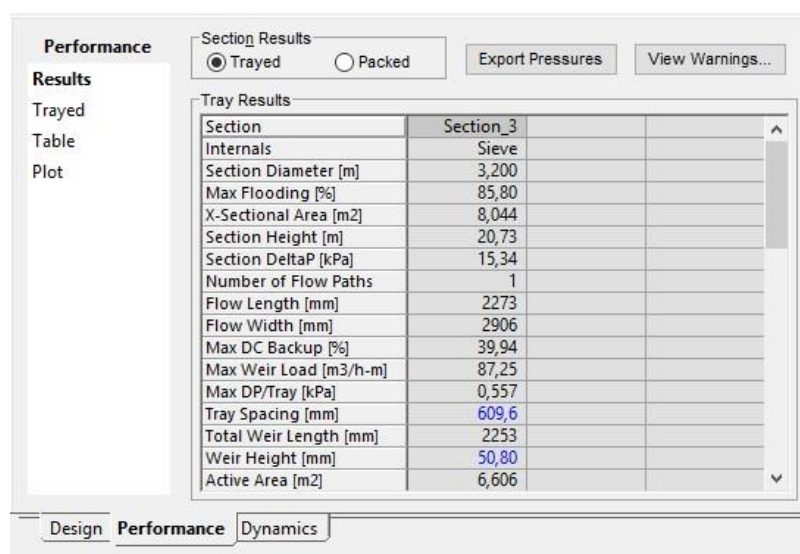


Рисунок 31 - Результаты расчёта тарельчатой секции утилитой «TraySizing»

#### 4.1.4 Оценка товарных свойств бокового погона (дизельной фракции)

В таблице 8 приведены показатели товарных свойств дизельной фракции отобранного из бокового погона при моделировании колонны.

Таблица 8- Товарные свойства дизельной фракции

Наименование показателя	Тарелки			Насадки	
	Ситчатые	Клапанные	Колпачковые	Насадка Нортон	Насадка Рашига
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	55	49	52	52	51
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	2,80	2,00	1,90	3,69	3,12
Стандартная плотность, кг/м <sup>3</sup>	821,0	817,4	820,6	817,6	831,0

При сравнении показателей товарных свойств дизельной фракции, отобранной из бокового погона и с таблицей 2 (физико-химические и эксплуатационные показатели топлива по ГОСТ 32511-2013). Можно сделать вывод, что в тарельчатой колонне, качество дизельной фракции лучше, чем в насадочной.

#### 4.1.5 Анализ эффективности

Далее выполнен анализ эффективности. Выполнено моделирование с тарелками (ситчатые, клапанные, колпачковые) и с насадками Рашига и Нортон. Сравнивались диаметры колонн, площадь разделения, высота контактных устройств и гидравлическое сопротивление. Результаты моделирования представлены в таблице 9.

Таблица 9-Результаты моделирования

Параметры	Тарелки			Насадки	
	Ситчатые	Клапанные	Колпачковые	Насадка Нортон	Насадка Рашига
диаметр, м	3,20 0	3,35 3	3,50 5	3,658	3,810

макс.Поток,%	85,8 0	78,1 0	73,9 7	57,93	56,51
площадь разделения,м2	8,04 4	8,82 9	9,65 0	10,51	11,40
высота, м	20,7 3	20,7 3	20,7 3	25,08	25,39
гидравлическое сопротивление, кПа	15,3 4	24,5 9	34,8 3	6,854	6,971

Насадочные ректификационные колонны имеют меньшее по сравнению с тарельчатыми колоннами гидравлическое сопротивление, приходящееся на одну теоретическую тарелку. Наиболее распространенный тип насадочных массообменных колонн -аппараты с насыпной насадкой. Важнейшей частью колонн этого типа является насадка, служащая для развития поверхности контакта фаз, которая образуется жидкостью, смачивающей насадку. Важнейшими характеристиками насадки являются удельная поверхность, т.е. поверхность единицы объема насадки, и свободный объем.

Увеличение удельной поверхности насадки благоприятствует повышению ее разделяющего действия. Однако это чаще всего связано с уменьшением свободного объема, что приводит к повышению гидравлического сопротивления. При разделении смесей важно обеспечить достаточное разделяющее действие при минимальном гидравлическом сопротивлении.

Определили количество теплоты, которое необходимо отвести от потока паров, выходящих из колонны для их конденсации и организовать орошение в колонне и отбор жидкого дистиллята.

Condenser @COL1				
Worksheet	Name	To Condenser	gas	ms1-1
Conditions	Vapour	1,0000	1,0000	0,0000
	Temperature [C]	141,3	54,00	54,00
Properties	Pressure [kPa]	120,0	120,0	120,0
	Molar Flow [kgmole/h]	193,9	8,537e-002	48,38
Composition	Mass Flow [kg/h]	1,765e+004	4,663	4406
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	24,87	8,143e-003	6,207
PF Specs	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,467e+005	-1,661e+005	-2,966e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	252,4	176,8	120,1
	Heat Flow [kJ/h]	-4,784e+007	-1,418e+004	-1,435e+007
	Name	Reflux	Q1-2	
	Vapour	0,0000	< empty >	
Temperature [C]	54,00	< empty >		
Pressure [kPa]	120,0	< empty >		
Molar Flow [kgmole/h]	145,4	< empty >		
Mass Flow [kg/h]	1,324e+004	< empty >		
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	18,65	< empty >		
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,966e+005	< empty >		
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	120,1	< empty >		
Heat Flow [kJ/h]	-4,312e+007	9,650e+006		

Рисунок 32- Параметры потоков конденсатора

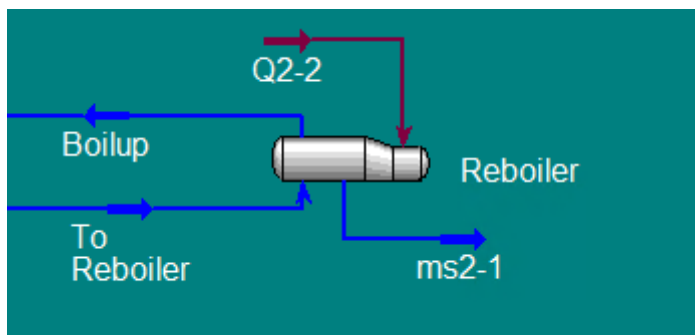


Рисунок 33 – Ребойлер

Reboiler @COL1					
Worksheet	Name	To Reboiler	ms2-1	Boilup	Q2-2
Conditions	Vapour	0,0000	0,0000	1,0000	< empty >
	Temperature [C]	290,0	340,0	340,0	< empty >
Properties	Pressure [kPa]	180,0	180,0	180,0	< empty >
	Molar Flow [kgmole/h]	122,5	45,30	77,16	< empty >
Composition	Mass Flow [kg/h]	2,803e+004	1,359e+004	1,444e+004	< empty >
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	33,14	15,49	17,65	< empty >
PF Specs	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-4,191e+005	-4,778e+005	-2,831e+005	< empty >
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	711,9	1070	675,1	< empty >
	Heat Flow [kJ/h]	-5,132e+007	-2,164e+007	-2,184e+007	7,835e+006

Рисунок 34 - Параметры потоков ребойлера

Определили нагрузку на конденсатор и ребойлер. Результаты приведены в таблице 10.

Таблица 10- Результаты нагрузок на конденсатор и ребойлер

Нагрузка, кДж/ч	Тарелки			Насадки	
	Ситчатые	Клапанные	Колпачковые	Насадка Нортон	Насадка Рашига
Ребойлер	$7,835 \cdot 10^6$	$7,810 \cdot 10^6$	$7,849 \cdot 10^6$	$8,504 \cdot 10^6$	$8,142 \cdot 10^6$
Конденсатор	$9,650 \cdot 10^6$	$9,346 \cdot 10^6$	$9,763 \cdot 10^6$	$9,980 \cdot 10^6$	$9,769 \cdot 10^6$

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

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

Главными задачами развития экономики на современном этапе является повышение эффективности производства, а также занятие устойчивых позиций организаций на внутреннем и международном рынках. Чем выше первый показатель и ниже второй, тем лучше и выгоднее для покупателя и производителя. Резервы улучшения этих показателей как раз и заключены в себестоимости продукции. Себестоимость продукции организаций складывается из затрат связанных с использованием в процессе производства природных, материальных, трудовых ресурсов, основных фондов, а также затрат на реализацию продукции.

С учетом поставленной цели в дипломной работе решены задачи проведения расчета себестоимости производимой продукции после мероприятий по совершенствованию производства.

Предметом исследования являются затраты, осуществляемые на предприятии, и расчет экономической эффективности предложенных мероприятий. Предмет исследования - экономические показатели, характеризующие экономическую эффективность производства на предприятии за 2019 год.

Поставленные в работе задачи решались на основе общенаучных методов - системного, логического, комплексного и сравнительного анализа и специально-научного метода - метода факторного анализа, а также анализа документов.

Методологическая основа работы: в основу исследования положены: исторический, сравнительно-правовой, формально-логический, системно



структурный, конкретно-социологический и статистический методы научного познания.

## 5.2 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.

## 5.3 Анализ конкурентных технических решений

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 11 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические решения в области производства дизельного топлива.

Таблица 11 - 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>
<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	0,4	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>2 7</b>	<b>2 5</b>	<b>2 2</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».

#### **5.4 SWOT-анализ**

SWOT - Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) - представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

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

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» - сильное соответствие сильных сторон возможностям, либо знаком «-» - слабое соответствие; «0» - если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 12- Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Систематическое повышение уровня квалификации.</p> <p>С2. Наличие квалифицированного персонала, имеющего опыт работы в данной области.</p> <p>С3. Наличие постоянных поставщиков (Зап.Сибирь и Сахалин).</p> <p>С4. Высокое качество продукции, соответствующее мировым стандартам.</p> <p>С5. Внедрение новых узлов оборудования и совершенствования технологических процессов.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Низкий уровень заработной платы для молодых специалистов.</p> <p>Сл2. Устаревшее оборудование.</p> <p>Сл3. Повышение цен у поставщиков.</p> <p>Сл4. Высокий уровень ценна выпускаемую продукцию.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Спрос на выпуск нефтепродуктов в России, некоторых странах АТР достаточно высок и имеет устойчивую тенденцию к увеличению.</p> <p>В2. Малое количество посредников на территории Дальнего Востока.</p> <p>В3. Небольшое количество конкурентов на территории Дальнего Востока.</p> <p>В4. Высокое качество поставляемых ресурсов.</p>	<p><b>Сильные стороны и возможности:</b></p> <p>1. Эффективное использование ресурсов производства.</p> <p>2. Оптимизация количества посредников за счет постоянных и проверенных поставщиков (пользоваться услугами постоянных поставщиков).</p> <p>3. Поддержание увеличения спроса и выхода на новые рынки сбыта товара за счет высокого качества продукции.</p>	<p><b>Слабые стороны и возможности:</b></p> <p>1. Создание эффективной системы мотивации и стимулирования для сотрудников.</p> <p>2. Нарботка и укрепление конкурентных преимуществ продукта.</p> <p>3. Модернизация оборудования.</p> <p>4. Внедрение технологии 5.</p> <p>Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Увеличение уровня налогов.</p> <p>У2. Повышение требований к качеству продукции.</p>	<p><b>Сильные стороны и угрозы:</b></p> <p>1. Применение оптимальной налоговой политики.</p> <p>2. Внедрение менеджмента качества.</p> <p>3. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.</p>	<p><b>Слабые стороны и угрозы:</b></p> <p>1. Повышение цен на выпускаемую продукцию.</p> <p>2. Выбор оптимального поставщика и заключение договорных отношений.</p>

УЗ.Несвоевременные поставки сырья и оборудования.		
---	--	--

## 5.5 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

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 13.

Таблица 13- Основные цели планирования работ

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность Исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления Исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, Студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Анализ существующей схемы стабилизации газового конденсата	Студент
	6	Разработка математической модели процесса	Студент
	7	Оценка адекватности математической модели реальному процессу	Студент
	8	Оценка влияния технологических параметров на качество продукта	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Студент
	10	Определение целесообразности проведения процесса	Руководитель, Студент

## 5.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

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

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

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

В качестве примера рассчитаем продолжительность 1 работы - разработка ТЗ:

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

$$T_{pi} = \frac{t_{овд}}{ч_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ дн.}$$

### 5.5.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта - горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 105 - 14} = 1,48,$$

где  $T_{\text{кал}}$ - количество календарных дней в году;  
 $T_{\text{вых}}$ - количество выходных дней в году;  
 $T_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблице 14).

Календарный план работ представлен в таблице 15.

Таблица 14- Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители, количество		Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$			
	$t_{min}$ чел.- дни			$t_{max}$ чел.-дни			$t_{ож}$ чел.-дни											
	ис п. 1	ис п. 2	исп. 3	ис п. 1	ис п. 2	исп. 3	ис п. 1	ис п. 2	исп. 3	ис п. 1	ис п. 2	исп. 3	ис п. 1	исп. 2	исп. 3	ис п. 1	исп. 2	исп. 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
Подбор и изучение материалов по теме, 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
Итого, дн												79	75	73	119	111	109	

Р - руководитель; Б – бакалавр

Таблица 15 – Календарный план-график проведения НИР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ																													
				сен			окт			нояб			дек			янв			февр.			март			апр			май			июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Выбор направления исследований Составление технического задания	Руководитель Студент	6	■																													
2	Подбор и изучение материалов по теме, составление литературного обзора	Студент	8		■																												
3	Изучение методики проведения экспериментов	Студент	10			■	■	■	■																								
4	Знакомство с оборудованием для проведения экспериментов	Студент	10				■	■	■	■	■	■																					
5	Проведение экспериментов	Студент	3							■	■	■																					
6	Обработка результатов, оформление таблиц данных, графиков	Студент	14													■	■	■	■	■	■												
7	Обсуждение полученных результатов	Студент	8																			■											
8	Оформление выводов	Руководитель Студент	8																			■											
9	Выбор направления исследований	Студент	13																				■										
10	Составление технического задания	Студент	6																					■	■	■	■						



## 5.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

### 5.6.1 Расчет материальных затрат НТИ

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 16-Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

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	18460,0	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 17.

Таблица 17 - Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед., т.руб			Затраты на материалы, (Зм), т.руб.		
		ОН ПЗ	Аналог 1	Аналог 2	ОН ПЗ	Аналог 1	Аналог 2	ОНП 3	Аналог 1	Аналог 2

Нефть	т	100	150	120	3,3	3,3	3,3	330,0	495,9	396,9
Нейтрализатор	л	150	50	50	0,018	0,018	0,018	0,9	0,9	0,9
Итого:								330,9	495,9	396,9

Аналог 1 - ПАО «Газпром нефть»;

Аналог 2 - ОАО «Сургутнефтегаз».

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

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме (таблица 18). Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

### **5.6.3 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ**

Для выполнения данного проекта необходимо приобретение персонального компьютера для двух участников проекта, ПО MicrosoftOffice 365 для создания документов, лицензионного программного пакета UnisimDesign для компьютерной реализации модели. Также необходимо иметь экспериментальные данные с завода, которые могут быть получены двумя способами: 1) запросить данные с лаборатории завода; 2) провести необходимые исследования в лаборатории кафедры.

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений. Так, стоимость персонального компьютера при сроке амортизации 25 месяцев и его использовании в течение 9 месяцев составит 18 тысяч рублей.

Таблица 18 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед. оборудования	Цена ед. оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб
1	Испаритель	1	150,0	300,0
2	Ректификационная колонна	3	5000,0	15000,0
3	Сепаратор	4	100,0	400,0
4	Теплообменник	14	10,0	140,0
5	Печь	4	300,0	1200,0
6	Насос	20	20,0	400,0
7	Рефлюксные ёмкости	3	120,0	360,0
8	Холодильник	12	50,0	600,0
9	ПК	1	10,0	10,0
10	Лицензионный программный пакет UnisimDesing	1	50,0	50,0
Итого:			5810,0	18460,0

#### 5.6.4 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 ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводим в таблицу 19.

Таблица 19 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З <sub>б</sub> , руб.	k <sub>р</sub>	k <sub>д</sub>	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	T <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Руководитель	28924,94	1,3	-	37602,425	1253,42	64	80218,5
Студент	2500	-	-	-	-	88	12500

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где Z<sub>осн</sub>- 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:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}},$$

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

$T_{\text{р}}$ - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 19);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

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 20-Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	136	136
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	42	42
- праздничные дни	6	6
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	-
- невыходы по болезни	0	
Действительный годовой фонд рабочего времени	64	88

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}$$

где  $Z_{\text{б}}$ - базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ - премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{д}$ - коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях - за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_{р}$ - районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

### 5.6.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} ,$$

где  $Z_{доп}$ - дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ - коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ - основная заработная плата, руб.

В таблице 21 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 21 -Заработная плата исполнителей НТИ

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

### 5.6.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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

Таблица 22 -Отчисления во внебюджетные фонды

	Руководитель	Студент
Зарплата	80218,5	12500
Отчисления на социальные нужды	27675,4	3750

## 5.6.7 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная (таблица 23).

Таблица 23 - Выбор организационной структуры научного проекта

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

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

## 5.7 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

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

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}$$

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).

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a$$

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

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

$n$  - число параметров сравнения.

Таблица 24-Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

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

$$I_{финр}^{Исп1} = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,6}{0,978} = 4,71$$

$$I_{финр}^{Исп2} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^{a2}} = \frac{4,7}{1} = 4,7$$

$$I_{финр}^{Исп3} = \frac{I_m^{a2}}{I_\phi^{a2}} = \frac{3,5}{0,74} = 4,73$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{Исп1}}{I_{Исп2}}$$



Таблица 25-Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Текущий проект	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,98	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,6	3,8
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	4,7	3,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения (разработка относительно аналога)	0,95		0,81

**Вывод:** в ходе выполнения данного раздела были определены финансовый показатель разработки, показатель ресурсоэффективности, интегральный показатель эффективности и, на основании сравнительной эффективности вариантов исполнения, оптимальным был выбран вариант «Текущий проект».

## **6 Социальная ответственность**

### **Введение**

В данном разделе исследуется проект ректификационной колонны. Данная установка входит в состав нефтеперерабатывающих производств. Продукция установки применяется в качестве компонента топлива для двигателей внутреннего сгорания, а также как сырье для нефтехимических и лакокрасочных производств.

Процесс ректификации является пожаро- и взрывоопасным производством и использует вещества, оказывающие вредное воздействие на организм человека. Продуктом, определяющим взрывоопасность ректификационной колонны, являются пары углеводородов, которые с кислородом воздуха образуют смесь, взрывающуюся при наличии огня или искры.

Все применяемые на установке продукты являются горючими газами или легковоспламеняющимися жидкостями, большинство из которых имеют низкую температуру вспышки.

Наиболее опасными местами на установке являются:

- помещение технологической насосной;
- места отбора газообразных проб для лабораторных анализов;
- все колодцы промканализации, где возможно скопление углеводородных паров.

Ректификационная колонна находится на открытых площадках, а также основная часть насосного оборудования расположены в отдельных производственных помещениях.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### *Условия труда*

На установке ректификационной колонны, согласно N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда", присутствуют вредные условия труда (3

класс). В зависимости от проведенной спецоценки условия классифицируются:

1. подкласс 3.1 (вредные условия труда 1 степени) - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, после воздействия которых измененное функциональное состояние организма работника восстанавливается.

2. подкласс 3.2 (вредные условия труда 2 степени) - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию начальных форм профессиональных заболеваний или профессиональных заболеваний легкой степени тяжести.

#### *Гарантии и компенсации*

1. На установке принят двухсменный четырёх бригадный график работы согласно “Списку производств, цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых даёт право на дополнительный отпуск и сокращённый рабочий день”, М., 1977, гл. IX, п. 45 и 54а (содержание серы в сырье 0,005 масс. %).

2. Дополнительный отпуск (12 календарных дней).

3. Всем работникам установки с целью нейтрализации вредных для организма веществ выдается молоко в количестве 0,5 литра в сутки.

4. При достаточном трудовом стаже выход на льготную пенсию.

## **6.2 Производственная безопасность**

Перечень опасных и вредных факторов, по ГОСТ 12.0.003-2015, характерные для производственной среды ректификационной колонны приведены в таблице 26.

Таблица 26 - Опасные и вредные факторы при эксплуатации и обслуживанию технологической установки риформинга по ГОСТ12.0.003-2015

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.584-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
Превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.1.003–2014 Шум. Общие требования безопасности.
Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
Повышенная загазованность воздуха рабочей среды	+	+	+	№123 ФЗ от 22.07.2008 Применение горючих и взрывоопасных веществ

### *Отклонение показателей микроклимата*

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;

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

Для обеспечения нормальных условий труда строятся производственные помещения, отвечающие СанПиН 2.2.4.584-96 [3].

Оптимальные параметры показателей микроклимата приведены в таблице 27 по ГОСТ 30494-2011.

Таблица 27 - Санитарно-гигиенические условия в производственном помещении

Показатели	Производственное помещение - Операторная
Характеристика тяжести работы	Средней тяжести I б
Температура воздуха: Теплый период Холодный период, °С	21-23 22-24
Температура поверхностей: Теплый период Холодный период, °С	20-24 21-25
Относительная влажность, %,	40-60
Скорость движения воздуха, м/с,	0,1

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата использованы защитные мероприятия:

- коллективные: системы местного кондиционирования воздуха, помещения для отдыха и обогрева.
- индивидуальные: спецодежда.

#### *Повышенный уровень шума*

Шум возникает при работе оборудования (насосов, электровентиляторов) и движении материальных потоков по трубопроводам.

При постоянном воздействии шума наблюдаются снижение слуха, различные вегетативные сдвиги и изменения сердечно-сосудистой системы.

Шум на рабочих местах не должен превышать 65 дБ [28].

Средства защиты: от шума - применение шумного оборудования, применение звукоизоляционных экранов, применение работниками специальных наушников;

### *Повышенный уровень вибрации*

Негативное влияние на организм человека оказывает вибрация, длительное воздействие которой вызывает нарушение функций дыхания, способствует изменению ритма сердечной деятельности и сосудистого тонуса; отрицательно сказывается на работе зрительной, вестибулярной, двигательной систем, а также на работе органов женской половой сферы.

Средства защиты: от вибрации-использование оборудования с виброзащитными рукоятками, специальной обуви и перчаток [29].

### *Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны*

Вещества: метан, метанол, этиловый спирт, бензол получаемые на производстве, вызывают токсическое отравление организма человека. В качестве индивидуальных средств защиты применяются фильтрующие противогазы марки А или БКФ.

Автоматическая система обнаружения утечек горючих газов и паров является проведение непрерывного автоматического контроля за уровнем взрывоопасности воздушной среды в производственных помещениях и рабочей зоне наружных установок с целью оповещения персонала объекта о возникновении пожароопасных аварийных ситуаций и обеспечения включения устройств, применяемых для их локализации и ликвидации.

Датчики системы газового анализа должны располагаться в зависимости от условий на каждом технологическом участке и иметь установку на уровне не выше 20% и 50% от нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР).

В производственных помещениях аварийные вентиляционные установки должны быть заблокированы с системой обнаружения утечек горючих газов и паров для автоматического включения аварийной вентиляции при подаче предупреждающего сигнала.

На открытых площадках должна быть предусмотрена предупреждающая и аварийная световая и звуковая сигнализации от каждого

или от группы датчиков по месту установки датчиков в помещения управления, а также аварийная сигнализация на пульт оператора.

### **6.3 Экологическая безопасность**

#### *Защита селитебной зоны*

Проектируемая установка ректификационной колонны относится к классу I «Производства по переработке нефти», согласно Сан ПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [30]. Санитарно-защитная зона составляет 1000м. Территория санитарно-защитной зоны предназначена для:

- обеспечения снижения уровня воздействия до требуемых гигиенических нормативов по всем факторам воздействия за ее пределами;
- создания санитарно-защитного барьера между территорией предприятия (группы предприятий) и территорией жилой застройки;
- организации дополнительных озелененных площадей, обеспечивающих экранирование, ассимиляцию и фильтрацию загрязнителей атмосферного воздуха и повышение комфортности микроклимата.

#### *Анализ воздействия объекта на атмосферу*

Работа установки связана с выбросами вредных веществ в атмосферу.

Нормативы выбросов регламентируются ГН 2.1.6.1339-03 [31]

Выбросы подразделяются на организованные и неорганизованные.

К организованным выбросам загрязняющих веществ в атмосферу от установки ректификационной колонны сбросы дымовых газов после трубчатых печей в общую дымовую трубу, вентиляционные выбросы из компрессорной и насосных.

К неорганизованным выбросам относятся выбросы через неплотности аппаратов, запорной, регулирующей и предохранительной аппаратуры, фланцевых соединений, уплотнений вращающихся валов и т. д.

Количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от объектов установки ректификационной колонны определено в соответствии с технологическими данными и указано в таблице 28.

Таблица 28 – Технологические данные

Наименование сброса	Количество образования выбросов по видам (т/год)	Условие (метод) ликвидации, обезвреживания, утилизации	Периодичность выбросов часов в год	ОБУВ (мг/м <sup>3</sup> )
1	2	3	4	5
<b>Неорганизованные выбросы</b>				
По установке:				
-сероводород	0,0066			
- бензол	1,056			
- ксилол	2,44			
- толуол	1,624			
- этилбензол	0,704			
- углеводороды пред. С1-С10	25,21		8000 1	
<b>Организованные выбросы</b>				
По установке:				
Печи				
азота диоксид	9,808			45,7
азота оксид	1,594			7,41
ангидрид сернистый	13,250			61,8
углерода оксид	6,790		8000	31,7
метан	1,830	без очистки		8,6
Насосы:-				
углеводороды пред. С1-С10	0,172			1
Компрессорная:				
- углеводороды пред. С1-С10	0,285		8000	1



### *Анализ воздействия объекта на гидросферу*

Количество и характеристика загрязнений, отводимых с установки со сточными водами, приведены в таблице 29.

Так как сточные воды закачиваются в пласт, то отходов от этих систем не будет.

Таблица 29- Количество и характеристика загрязнений, отводимых с установки со сточными водами

Наименование стока	Количество образования сточных вод 3 (м /ч)	Условия (метод) ликвидации, обезвреживания, утилизации	Периодичность выбросов	Установленная норма содержания загрязнений в стоках, (мг/л)
1	2	3	4	5
Стоки от охлаждения компрессора водородсодержащего газа Кр-1/1,2	5,8	закачка в пласт	8000+340ч (1 раз в 2 года)	нефтепродукты до 5 мг/л
Стоки после промывки и пропарки аппаратов	5,0	закачка в пласт	1 раз в году	нефтепродукты до 50 мг/л
Стоки бытового корпуса операторной	3,25 0,14	закачка в пласт	постоянно	взвешенные вещества - до 200 мг/л, сухой остаток - до 150 мг/л, аммонийный азот - 3,2мг/л, фосфаты- 0,4 мг/л, хлориды - 0,3 мг/л

### *Анализ воздействия объекта на литосферу*

К основным причинам, приводящим к загрязнению грунта, относят: утечки через негерметичные соединения технологического оборудования; механические повреждения арматуры; выбросы в атмосферу; негерметичная канализационная система; разливы при сливо-наливных операциях и другие.

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В районе местоположения установки возможны следующие чрезвычайные ситуации:

### 1. Природного характера:

- низкие температуры;
- сильный ветер;
- лесные, торфяные пожары.
- затопление паводковыми водами

На данной установке, таковыми могут быть все из вышеперечисленных факторов. Низкие температуры, как частое явление в северных регионах, могут привести к разгерметизации оборудования, отопления и соответственно к утечке газа. Предостережением такого фактора является постоянный контроль за работой оборудования и системой контроля температурного режима.

### 2. Техногенного характера:

- пожары – могут привести к взрыву оборудования и к гибели людей;
- взрывы газоздушных смесей;
- разливы вредных веществ – приводят к отравлению персонала;

### 3. Социально - политического характера - террористические акты.

Для предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера необходимо чётко соблюдать нормы технологического режима и правила техники безопасности.

## **6.5 Вывод по разделу социальная ответственность**

В данной главе выпускной квалификационной работы были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы ректификационной колонны отбензинивания нефти, оказывающие влияние на здоровье человека, а также нормативные документы, регулирующие их воздействие на человека.

Были описаны мероприятия по снижению уровня воздействия этих факторов, влияние технологического процесса на экологическую безопасность. Также были выявлены возможные виды аварийного состояния объекта, поэтому предусмотрены способы их устранения.

## **Заключение**

В результате выполнения данной работы была изучена и разработана модель атмосферной колонны фракционирования нефти в среде UnisimDesign.

На модели выполнен анализ основных конструктивных размеров и гидравлических сопротивлений колонны отбензинивания, оборудованная различными типами контактных устройств.

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

Самые низкие капитальные затраты - тарельчатая колонна. Она имеет наименьшие размеры и гидравлическое сопротивление у колонны, оборудованной ситчатыми тарелками. Следовательно, и капитальные затраты и затраты энергии на преодоление потери напора\_\_\_у этой колонны -минимальны. Поскольку в колонне отбензинивания отгоняют только легкие фракции, нет опасности засорения отверстий тяжелыми продуктами и можно рекомендовать использовать данный тип тарелок.

Насадочные колонны имеют существенно большие размеры по сравнению с тарельчатыми, однако их гидравлическое сопротивление в 2,2 - 5,0 раз ниже. Капитальные затраты в этом случае выше, а операционные ниже, чем у тарельчатых. Расчеты показали, что предпочтительнее использовать насадку Нортонa.

Наиболее энергоэффективной оказалась тарельчатая колонна с клапанными тарелками, кроме того, она обеспечивает заданные свойства ДФ.

Самые низкие эксплуатационные расходы у тарельчатой колонны.

Поэтому целесообразно принять тарельчатую колонну, поскольку она обеспечит заданное качество продукта при минимальных затратах.

Таким образом, результаты расчетов позволили определить оптимальные конструкции внутренних устройств для отбензинивающей и основной колонны установки фракционирования нефти. Рекомендуется использовать тарельчатые колонны, колонну отбензинивания рекомендуется оборудовать ситчатыми тарелками, а основную атмосферную колонну – клапанными.

## Список использованных источников

1. Чуракова С.К., Сидоров Г.М., Резяпов Р.Н., Богатых К.Ф. Модернизация ректификационного оборудования с использованием перекрёстноточных насадочных контактных устройств // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. - ООО "Издательский центр "Техинформ" МАИ" (Москва) - № 11, 2013.
2. Александров И.А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке. М.: Химия, 1981.
3. Магеррамов А.М., Ахмедова Р.А., Ахмедова Н.Ф. Нефтехимия и нефтепереработка. Учебник для высших учебных заведений. Баку: Издательство «БакыУниверситети», 2009.
4. Тимошенко А.В., Анохина Е.А., Рудаков Д.Г., Тимофеев В.С., Тациевская Г.И., Матюшенкова Ю.В. Энергосбережение в ректификации с использованием комплексов со связанными потоками. Вестник МИТХТ, 2011, т.6, № 4.
5. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа/ Ахметов С.А. // -Уфа: Гилем, 2002.
6. Ясавеев Х.Н., Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Модернизация установок переработки углеводородных смесей. Казань: ФЭН, 2004.
7. Тимошенко А.В., Анохина Е.А., Буев Д.Л.// Теоретические основы химической технологии. 2004.Т.38. №2.
8. Лащинский А.А. //Конструирование сварных химических аппаратов, 1981. 9. Бальчугов А.В., Бадеников А.В., Кузора И.Е. Каскадная тарелка. Патент RU 2526381. Оpubл. 2014.
9. Селиваненко И.Л., Суворкин К.Д. Структурированная насадка для массообменных колонн. Патент RU 2406565. Оpubл.2010.
10. Леонтьев В.Г., Корольков А.Г. Способ фракционирования нефти и установка для его осуществления. Патент RU2100403С1. Оpubл.1997.
11. Кириленко В.Н., Брулев С.О. Способ первичной перегонки углеводородного сырья. Патент RU2191800С2. Оpubл. 2000.
12. Wright RO. Fractionation apparatus. US patent 2481134. Оpubл. 1949.
13. Петлюк Ф.Б., Платонов В.М., Славинский Д.М. Термодинамически оптимальный способ разделения многокомпонентных смесей // Хим. Пром. 1965. №3.
14. Массообменные насадки [Электронный ресурс]: режим доступа [http:// http://technolit-t.ru](http://http://technolit-t.ru).
15. 15.X.Y. You, Z. S. Yang, 2003, Estimating the Relative Tray Efficiency of Sieve Distillation Trays by Applying Artificial Neural Networks.
16. Engeliен НК, Skogestad S. Selecting appropriate control variables for a heatintegrated distillation system with prefractionator. Comput Chem Eng 2004; 28:683-91.
17. Cheng HC, Luyben WL. Heat-integrated distillation columns for ternary separations. Ind Eng Chem Process Des Dev 1985; 24:707-13.
18. Emtir M, Rev E, Fonyo Z. Rigorous simulation of energy integrated and thermally coupled distillation schemes for ternary mixture. Appl Therm Eng 2001; 21:1299-317.
19. 16. Кравцов А.В., Самборская М.А., Вольф А.В., Митянина О.Е.. Основы проектирования процессов переработки природных энергоносителей., Томск: Изд-во ТПУ, 2011.
20. 17. Быстров А.И., Деменков В.Н., Хайрудинов И.Р. Способ перегонки нефти. Патент RU 2515728,2013.

21. 18. Формирование математической модели и исследование множественности стационарных состояний реакционно-ректификационного процесса/М.А. Самборская, Кравцов А.В., Митянина О.Е.//Химия и химическая технология: материалы I Международной Российско-Казахстанской конференции, г.Томск, 26-29 апреля 2011г./ Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2011.
22. 19. Писаренко В. Н., Писаренко Е.В., Саркисов П.Д. К разработке инновационных технологий получения высококачественных моторных топлив и ключевых продуктов нефтехимического синтеза//Вестник Казанского технологического университета- № 2, 2007.
23. 21. Новиков А.А., Технологическое проектирование тарельчатых колонн фракционирования нефти: методические указания к выполнению лабораторных работ / Новиков А.А., Самборская М.А., - Томск: ТПУ, 2007.
24. 22. Nysys.upstream[Электронный ресурс]: - <http://www.aspentech.com>.
25. 23. Ахметов С. А. и др. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / Ахметов С. А., Сериков Т.П., Кузеев И.Р., Баязитов М.И.; Под ред. Ахметова С.А.. СПб.: Недра, 2006.
26. 24. Дытнерский. Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии.
27. Ч.2- М.: Химия, 1995.
28. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2014. – 13 с.
29. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы. – М.: Стандартинформ, 1996. – 12 с.
30. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» и ССБТ ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <http://www.npmaar.ru/possnips/standpr/gost30494.html>., свободный. – Дата обращения: 15.04.2019г.
31. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/579059>., свободный. – Дата обращения: 15.04.2019г.
32. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
33. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.
34. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности инструмента [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_148963/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148963/)., свободный. – Дата обращения: 23.04.2014 г.
35. ГОСТ 12.1.010–76. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 7 с.