

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

---

Институт ИПР  
Направление подготовки (специальность) 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии  
Кафедра ХТТ и ХК

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Эксергетический анализ установки фракционирования нефти с полной интеграцией потоков</b>

УДК 665.6.048.3 – 048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К31	Брыль Виктория Даниловна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Самборская Марина Анатольевна	Кандидат технических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжаккина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Егор Михайлович	Кандидат технических наук		

Томск – 2017 г.

*Планируемые результаты обучения по ООП*

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,14,16,17,18), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11 ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,7,10,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

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

---

Институт ИПР  
Направление подготовки (специальность) 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии  
Кафедра ХТТ и ХК

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

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К31	Брыль Виктории Даниловне

Тема работы:

<b>Эксергетический анализ установки фракционирования нефти с полной интеграцией потоков</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	31.01.2017 г., № 421/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25 мая 2017 г.
--	----------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p align="center"><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Модель установки в HYSYS</p>
--	---------------------------------

<p align="center"><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p align="center"><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>Введение: актуальность использования математического моделирования для повышения эффективности химико-технологических процессов;</p> <p>1. Литературный обзор: Современные схемы и внутренние устройства колонн фракционирования нефти;</p> <p>2. Аналитический обзор: Методы оценки эффективности технологических процессов, программные продукты для моделирования и проектирования;</p> <p>3. Экспериментальная часть: Моделирование схем фракционирования в HYSYS, выполнение эксергетических расчетов для различных схем фракционирования, проектирование основной колонны в схеме с полной интеграцией потоков, анализ результатов, рекомендации;</p> <p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</p> <p>5. Социальная ответственность;</p> <p>Заключение.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p align="center"><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p align="center"><b>Раздел</b></p>	<p align="center"><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Т.Г., к.э.н., доцент кафедры менеджмента</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Немцова О.А., ассистент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> <p align="center">_____</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p align="center">15 сентября 2016 г.</p>
--	---

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p align="center">Доцент</p>	<p align="center">Самборская Марина Анатольевна</p>	<p align="center">Кандидат технических наук</p>		<p align="center">15.09.2016 г.</p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p align="center">2К31</p>	<p align="center">Брыль Виктория Даниловна</p>		<p align="center">15.09.2016 г.</p>

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2К31	Брыль Виктории Даниловне

<b>Институт</b>	<b>ИПР</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ХТТ и ХК</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

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

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски.	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.	Проведение оценки экономической эффективности исследования.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
5. Сравнительная эффективность разработки

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономическ их наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2К31	Брыль Виктория Даниловна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 2К31	ФИО Брыль Виктории Даниловне
----------------	---------------------------------

Институт	ИПР	Кафедра	ХТТ и ХК
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, биотехнологии и нефтехимии

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><b>Объект исследования</b> – процесс фракционирования нефти;</p> <p><b>Область применения</b> – нефтеперерабатывающая промышленность;</p> <p><b>Рабочее место</b> – рабочая зона оператора, открытая площадка, центральный пульт управления</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<p><i>Анализ выявленных вредных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенный уровень шума,</li> <li>- повышенная загазованность рабочей зоны,</li> <li>- утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу.</li> </ul> <p><i>Вредными веществами, которые образуются при первичной перегонки нефти являются:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- углеводороды,</li> <li>- оксиды серы,</li> <li>- оксиды углерода,</li> <li>- оксиды азота.</li> </ul> <p><i>Анализ выявленных опасных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- термические опасности,</li> <li>- электрический ток,</li> <li>- движущиеся машины и механизмы,</li> </ul>
---	--

	<p>- пожар.</p> <p><i>В целях защиты от вредных и опасных факторов используются следующие средства защиты: спецодежда, защитная каска, защитные очки, противогазы, респираторы, противошумные наушники, перчатки.</i></p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p><i>Основными загрязнителями атмосферы являются:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Углеводороды;</li> <li>- Аммиак;</li> <li>- Оксиды углерода;</li> <li>- Оксиды азота;</li> <li>- Сероводород;</li> <li>- Фенол.</li> </ul> <p><i>В осуществлении контроля главную роль играет установка санитарно-защитных зон.</i></p> <p><i>Основными загрязнителями гидросферы являются:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Углеводороды;</li> <li>- Твердые частицы металлов.</li> </ul> <p><i>В осуществлении контроля главную роль играют электронные системы предприятия. Они передают на центральную станцию сведения о качестве воды по основным показателям: количество растворенного кислорода, значения рН и температуры, содержание хлоридов, величина ВПК и др.</i></p> <p><i>Основными загрязнителями литосферы являются:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Углеводороды.</li> </ul> <p><i>Для защиты почвы от попадания нефтепродуктов, сливо-наливные площадки должны иметь бетонные покрытия, ограждены по периметру бортиками высотой 200 мм в соответствии с ГОСТ 1.15.0042009 «Общие требования при проектировании сливноналивных эстакад».</i></p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p><i>К источникам риска относятся:</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>разлив горючих жидкостей: нефти, бензина, дизельного топлива, мазута;</i></li> <li>– <i>воздействие на человека нагретых до высокой температуры стенок сосудов и аппаратов;</i></li> <li>– <i>аварии водопроводной сети;</i></li> <li>– <i>химическое заражение вследствие утечки транспортируемых углеводородов;</i></li> <li>– <i>возникновение очагов пожара, при разгерметизации оборудования;</i></li> <li>– <i>аварии на внутренних железнодорожных путях при транспортировке опасных веществ.</i></li> </ul> <p><i>В случае возникновения ЧС структуры ГОЧС объекта должны действовать согласно Постановлению №794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций»</i></p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p><i>Повышена оплата труда – не менее 4% тарифной ставки;</i>  <i>Продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю;</i>  <i>К работе не допускаются женщины и лица, не достигшие восемнадцатилетнего возраста.</i></p>

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К31	Брыль Виктория Даниловна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 94 страницы, 37 литературных источника, 25 рисунков, 24 таблицы, 3 приложения.

Ключевые слова: фракционирование, схемы фракционирования, контактные устройства, моделирование, системы автоматизированного проектирования, эксергетический анализ, эксергия.

В качестве объекта исследования выступали две технологические схемы фракционирования нефти.

Цель работы – исследование различных схем фракционирования нефти, на примере которых, необходимо рассчитать энергетические затраты на процесс разделения, и в последствии определить наиболее энергоэффективную из них.

В процессе исследования проводились расчеты эксергии технологических потоков для двух схем фракционирования нефти.

В результате исследования была определена наиболее энергоэффективная схема разделения, а также был выполнен проект основной колонны с помощью системы автоматизированного проектирования HYSYS для данной схемы.

Область применения – нефтеперерабатывающая промышленность.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2016.

## Содержание

Реферат.....	9
Введение.....	13
1 Совершенствование процесса фракционирования нефти.....	15
1.1 Схемы фракционирования нефти способные повысить энергетическую эффективность разделения.....	17
1.2 Схемы фракционирования нефти способные повысить качество и полноту разделения.....	19
1.3 Современные запатентованные схемы фракционирования нефти.....	25
1.4 Современные запатентованные контактные устройства.....	30
2 Методы оценки эффективности технологических процессов.....	33
2.1 Системы автоматизированного проектирования.....	34
2.2 Структура систем автоматизированного проектирования.....	35
2.3 Современные системы автоматизированного проектирования.....	36
3 Экспериментальная часть.....	39
3.1 Постановка задачи исследования.....	39
3.2 Объекты и методы исследования.....	39
3.3 Построение моделей в HYSYS.....	42
3.4 Методика расчета эксергии технологических потоков.....	42
3.4.1 Расчет химической составляющей эксергии.....	42
3.4.2 Расчет физической составляющей эксергии.....	44
3.5 Анализ результатов и выводы.....	45
3.6 Проектирование основной колонны схемы Петлюка.....	46
3.6.1 Исходные данные.....	46
3.6.2 Технологический расчет основной колонны.....	47
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	52

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	52
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	52
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	53
4.1.3 SWOT-анализ.....	55
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	59
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	59
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	60
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	61
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования НТИ.....	64
4.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	64
4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	65
4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	65
4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	66
4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	67
4.2.4.6 Накладные расходы.....	67
4.2.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	68
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	69
5 Социальная ответственность.....	72
5.1 Производственная безопасность.....	72
5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов.....	72
5.1.1.1 Повышенная загазованность рабочей зоны.....	72
5.1.1.1.1 Предлагаемые средства защиты.....	73
5.1.1.1.2 Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу.....	74
5.1.1.1.2.1 Характеристика основных загрязнителей атмосферы.....	74
5.1.1.1.3 Повышенный уровень шума на производстве.....	75

5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов.....	76
5.1.2.1 Термические опасности.....	76
5.1.2.2 Электробезопасность.....	76
5.1.2.3 Движущиеся машины и механизмы.....	77
5.1.2.4 Пожарная безопасность.....	78
5.2 Экологическая безопасность.....	79
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	87
Заключение.....	89
Список публикаций студента.....	90
Список использованной литературы.....	91
Приложение А.....	95
Приложение Б.....	97
Приложение В.....	108

## Введение

Нефть представляет собой сложную смесь взаиморастворимых газообразных, жидких, твердых углеводородов различного химического строения с числом углеродных атомов до 100 и более, имеющую в своем составе соединения азота, серы, кислорода и различных металлов.

Из нефти, поступающей с установок промысловой подготовки на нефтеперерабатывающий завод, получают широкий спектр различной продукции (высокооктановые бензины, дизельные топлива, авиационные керосины, битумы, масла, котельные топлива и многое другое). Но предварительно нефть должна быть разделена на фракции – составляющие, различающиеся по температурам кипения (дистилляты). Для этого на НПЗ существуют установки первичной переработки нефти [1].

Установки первичной переработки нефти составляют основу всех нефтеперерабатывающих заводов, от работы этих установок зависят качество и выход получаемых компонентов топлив, а также сырья для вторичных и других процессов переработки нефти. Одним из наиболее эффективных и распространенных способов первичной переработки нефти является ректификация.

На нефтеперерабатывающем заводе, ректификационная установка является самой сложной, металлоёмкой и дорогостоящей конструкцией, в связи с тем, что в данный процесс вовлечена вся перерабатываемая нефть. Помимо этого, ректификационная установка является самой энергоёмкой, поэтому перед инженерами стоит задача разработки энергосберегающих технологий фракционирования.

Целью данной работы является исследование различных схем фракционирования нефти, на примере которых, необходимо рассчитать энергетические затраты на процесс разделения, и в последствии определить наиболее энергоэффективную из них.

Моделирование данных схем было выполнено с помощью системы автоматизированного проектирования HYSYS, на основе полученных математических моделей можно оценить состав и качество получаемых продуктов, а также подобрать оптимальный режим эксплуатации установок.

## **1 Совершенствование процесса фракционирования нефти**

Дистилляция сырой нефти – энергоемкий процесс и значительный источник образования отходов. Однако снижение энергозатрат и уменьшение образования отходов может быть достигнуто посредством улучшения термодинамики процесса. При современных ценах на энергию только за счет экономии можно окупить инвестиции, необходимые для внедрения процесса. Еще более внушительная экономическая эффективность и оправданность таится в снижении отходов и выбросов [2].

На сегодняшний день существует большое разнообразие технологических схем дистилляции нефти в зависимости от качества перерабатываемой нефти, содержания в ней светлых нефтяных фракций, легких газообразных углеводородов, сернистых соединений, от отбора и качества промежуточных нефтяных фракций, ассортимента товарных топлив, масел и другой продукции, от удельных энергозатрат, от комбинирования или взаимосвязи с другими установками нефтеперерабатывающего завода и др.

Пути проектирования направлены на уменьшение числа ректификационных колонн, на создание максимальной разделительной мощности ректификационных колонн за счет увеличения числа контактных тарелок, использование новых конструкций контактных тарелок и насадочных устройств с небольшим гидравлическим сопротивлением, максимальное понижение рабочего давления при ректификации нефти и особенно мазута, применение эффективных вакуумсоздающих систем, снижение расхода водяного пара в низ отпарных секций или полный отказ от применения водяного пара, а также на уменьшение первоначальных капитальных затрат на ректификационные системы и уменьшение эксплуатационных затрат при их длительной работе, на достижение повышенной точности расчетных показателей при проектировании оборудования технологических установок.

Новые прогрессивные способы дистилляции могут обеспечить ряд благоприятных возможностей для существующих НПЗ.

В настоящее время, нефтеперерабатывающая промышленность остановила свой выбор на атмосферно-трубчатых установках (АВТ).

Обычная четкая дистилляция нефти была внедрена в промышленность в двух вариантах, как с прямой (см. Рисунок 1.1), так и непрямой (обратной) последовательностью дистилляционных колонн (см. Рисунок 1.2).

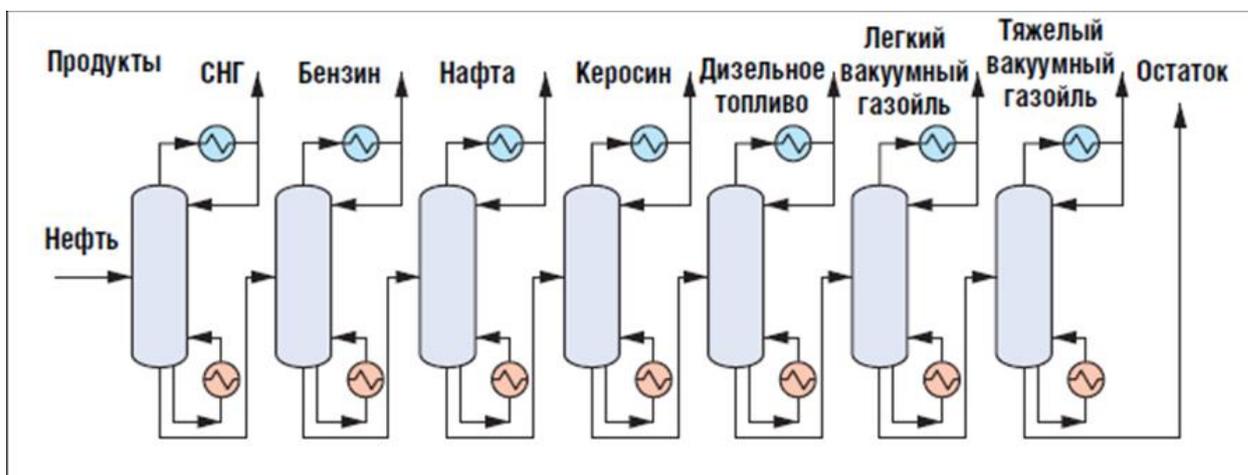


Рисунок 1.1 – Дистилляция нефтепродуктов с прямой последовательностью колонн

Преимущество схемы с прямой последовательностью заключается в том, что продукт испаряется при минимальной температуре, таким образом, минимизируя нагрев. Однако из-за необходимости фракционирования продуктов, для удовлетворения требованиям спецификаций (давление насыщенных паров, температура вспышки, застывания и пр.), требуется орошение, перемешивание с сырой нефтью и повторное испарение. Т.е. при любом остром орошении дважды тратится энергия на испарение части одного и того же потока и на его охлаждение [3].

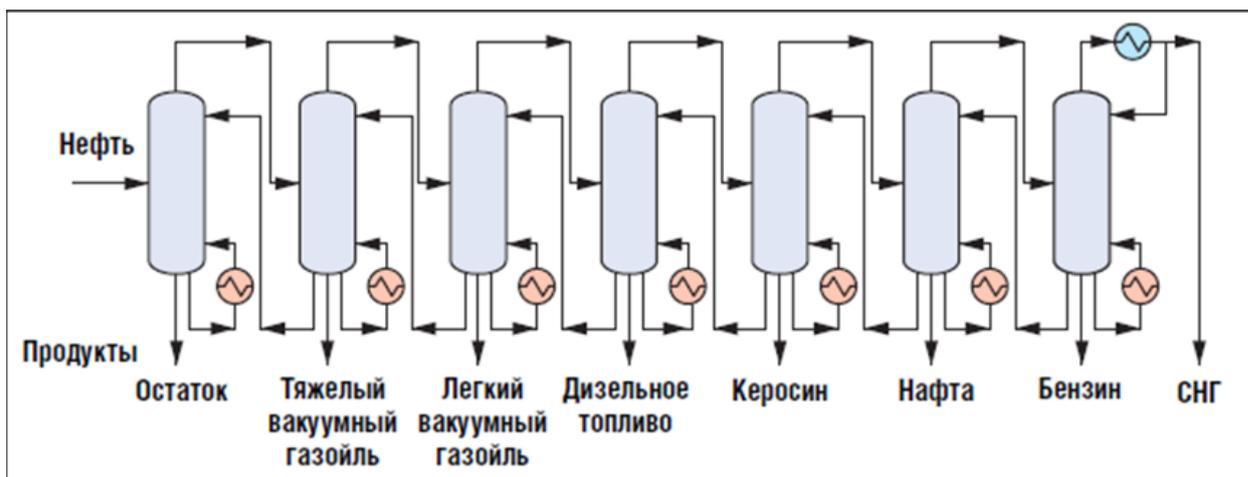


Рисунок 1.2 – Дистилляция нефтепродуктов с непрямой (обратной) последовательностью колонн

В отличие от схемы с прямой последовательностью, обратная последовательность дистилляционных колонн не требует орошения и повторного перемешивания, поскольку орошение предыдущей колонны создается кубовым продуктом последующей. Недостатком схемы является то, что требуется нагрев всего объема подаваемого сырья до максимальной температуры для испарения всех продуктов перед фракционированием. Еще одним немаловажным недостатком является отбор всего вакуумного газойля при самом низком давлении (глубоком вакууме) [4].

Несмотря на применение комбинаций этих процессов, все они имеют известные недостатки, потому что в них используется дистилляция по принципу «четкого разделения».

### 1.1 Схемы фракционирования нефти способные повысить энергетическую эффективность разделения

На рис.1.3, показана технологическая схема современной атмосферно-трубчатой установки с непрямой (обратной) последовательностью, механически интегрированной в две колонны.

Холодную нефть подогревают продуктовыми потоками, а также продуктами из вакуумной установки. Интеграция тепла на линии подогрева загружаемой нефти может быть оптимизирована, что позволяет снизить

потребление тепла печью примерно на 35% за счет большой удельной поверхности теплообменников [5].

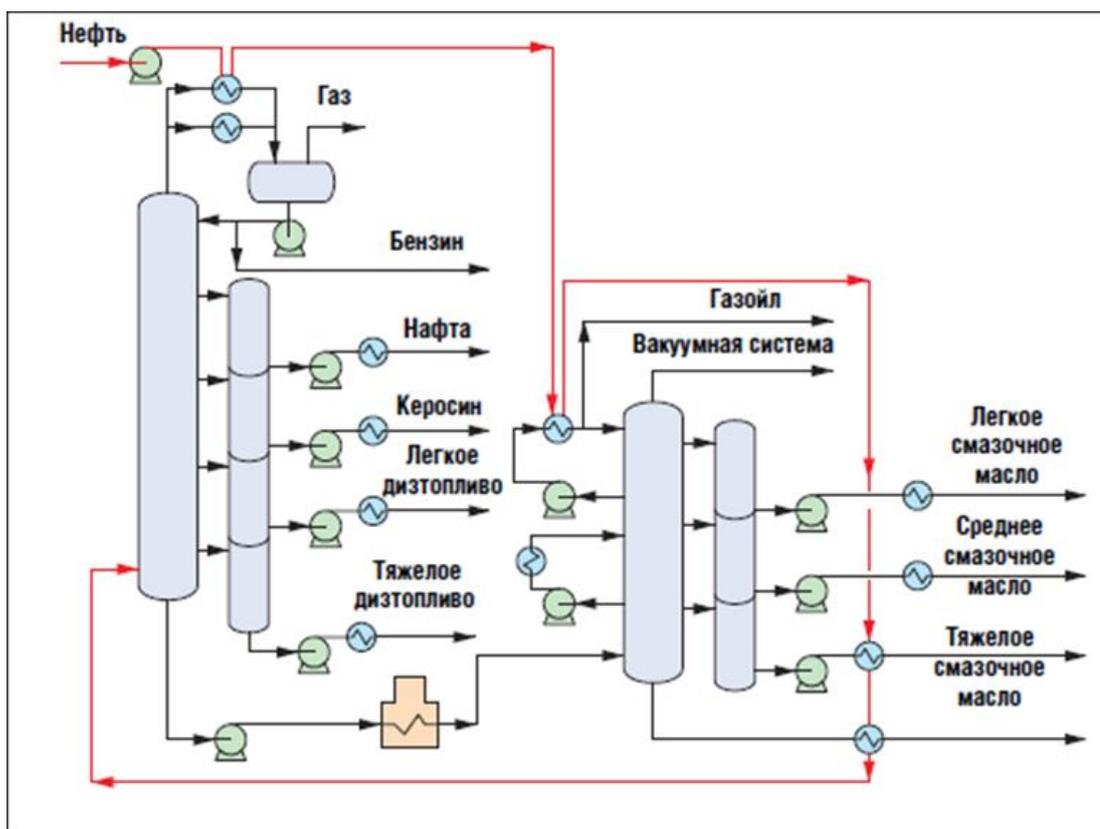


Рисунок 1.3 – Дистилляция нефтепродуктов путем непрерывного разделения в трубчатке с тепловой интеграцией

Теоретически конструкция атмосферной колонны с полностью распределенной дистилляцией (см. Рисунок 1.4) достигает самой высокой энергетической эффективности при самом малом размере установки.

В последовательности с полностью распределенной дистилляцией, наиболее и наименее летучие продукты, поступающие в каждую колонну, разделяются, тогда как промежуточные продукты распределяются между верхними и нижними частями колонн. В отличие от обычной прямой последовательности (см. Рисунок 1.1), распределенная система минимизирует орошение и повторное перемешивание испаряющихся продуктов в тяжелую нефть. Также в отличие от обычной непрямой (см. Рисунок 1.2), распределенная последовательность требует минимального подогрева для отделения каждого продукта.

Ключевым элементом конструкции установки распределенной дистилляции является внедрение межступенчатого рекуперативного теплообмена. Вторым ключевым элементом конструкции установки распределенной дистилляции является обеспечение возможности объединения колонн посредством внутренних перегородок [6].

При реконструкции теплообменной сети можно достичь снижения энергетических затрат благодаря повторному каскадному использованию большего количества энергии в процессе. Также осуществляется снижение капитальных затрат, за счет механического объединения отдельных узлов оборудования.

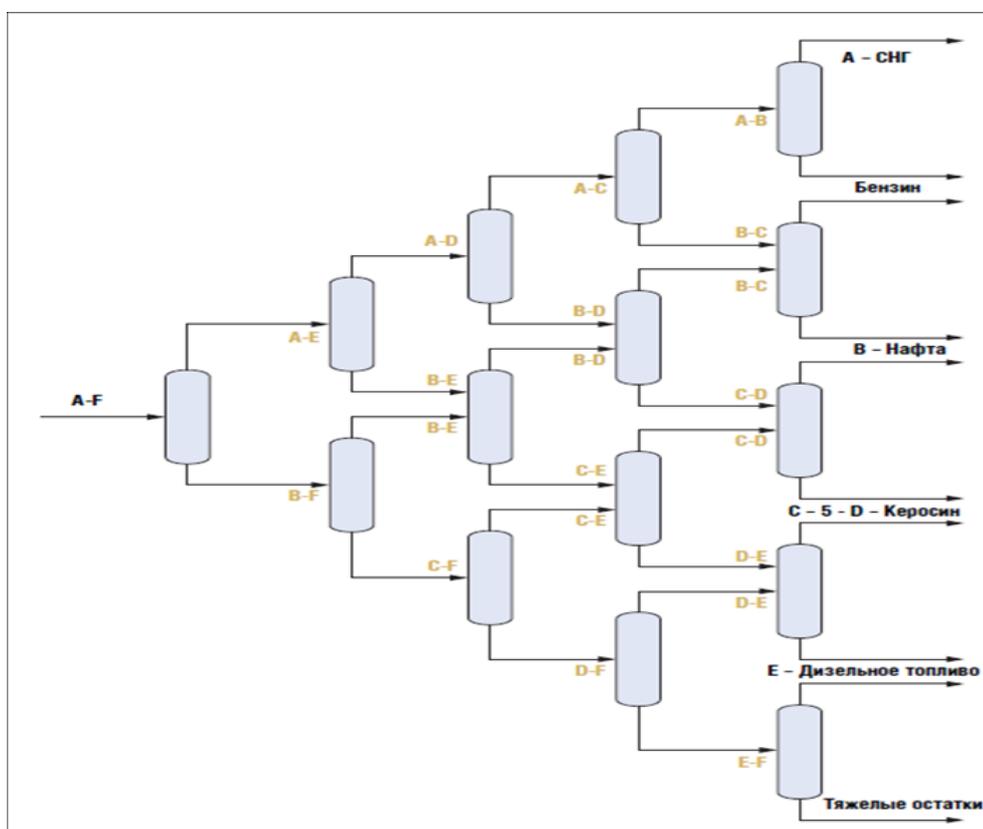


Рисунок 1.4 – Технологическая схема полностью распределенной дистилляции на установке атмосферной перегонки нефти

## 1.2 Схемы фракционирования нефти способные повысить качество и полноту разделения

Основная технологическая проблема дистилляции нефти заключается в наиболее полном выделении ценных испаряемых продуктов, таких как

бензиновая, дизельная фракции, а также мазут. Так как неиспаряемые жидкости влияют на резкое повышение температуры кипения бензиновой и дизельной фракций, требуются низкие давления (25 мм.рт.ст.) и высокие температуры (350 °С), следовательно, высокие капитальные и энергетические затраты [7].

В какой-то мере преодолеть вышеперечисленные недостатки позволяет процесс распределенной дистилляции «первого порядка» (см. Рисунок 1.5). Для обеспечения минимального воздействия на термодинамическую обратимость, большое число колонн предварительного фракционирования, применяемых в полностью распределенном процессе взаимосвязаны.

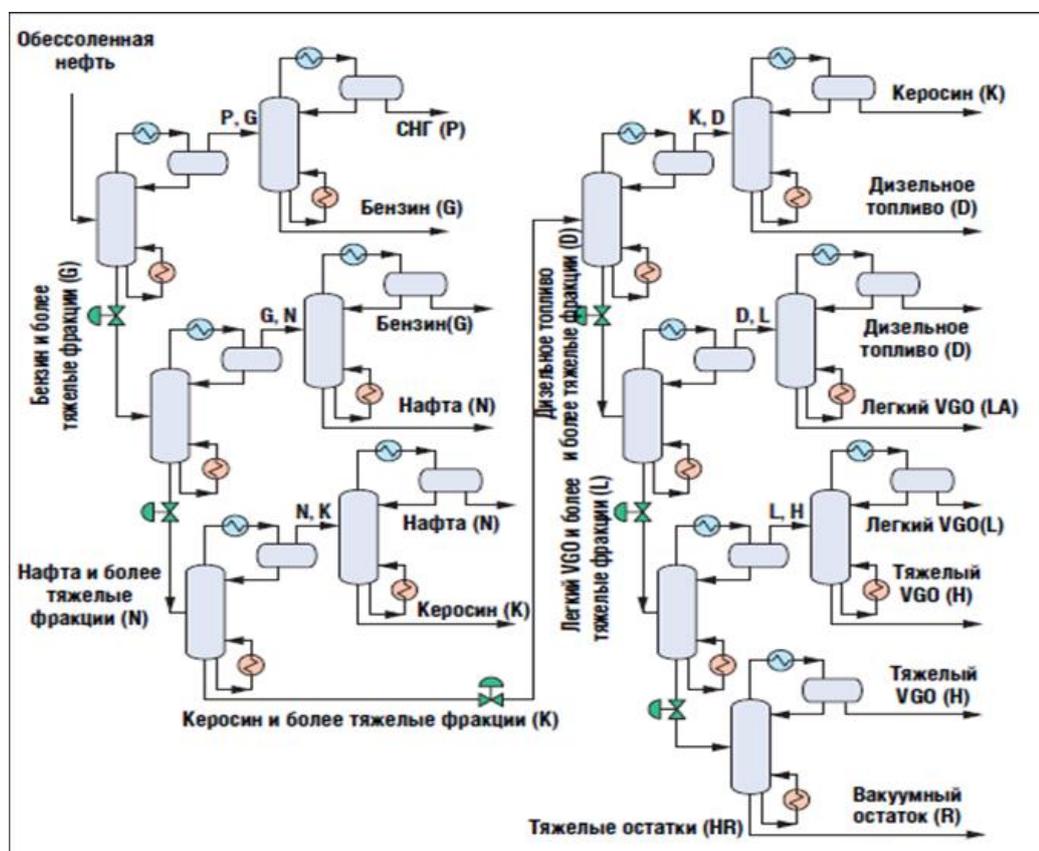


Рисунок 1.5 – Процесс распределенной дистилляции нефти первого порядка

Предварительное фракционирование относится к так называемой дистилляции «первого порядка», потому что только один промежуточный продукт распределяется в колонне в последовательном ряду предварительного фракционирования. Например, первая колонна, в которой сжиженный нефтяной газ (СНГ) отделяют от нефти, распределяют между верхней и

нижней частью. Продукт, отбираемый из бензиновой распределительной колонны, далее подвергается дистилляции в стабилизационной колонне для удаления сжиженного нефтяного газа (СНГ) из бензина. Продукт, отбираемый из нижней части бензиновой распределительной колонны, далее подвергается дистилляции в колонне предварительного фракционирования, где происходит отделение бензина от керосина и распределяется нефтя. Этот процесс повторяется по мере удаления тяжелых фракций при прогрессивно снижающихся давлениях [8].

Поскольку колонны предварительного фракционирования рассчитаны на разделение фракций со сравнительно широкими пределами выкипания, они не нуждаются в обильном орошении и поэтому отличаются относительной термодинамической эффективностью. Процесс распределенной дистилляции первого порядка для фракционирования нефти сравнительно сложен и нуждается в большом числе колонн и теплообменников.

Однако, если горячие продукты используются для подачи тепла на ребойлеры колонн предварительного фракционирования, то процесс становится более эффективным.

Процесс распределенной дистилляции может быть усовершенствован путем термической интеграции (см. Рисунок 1.6).

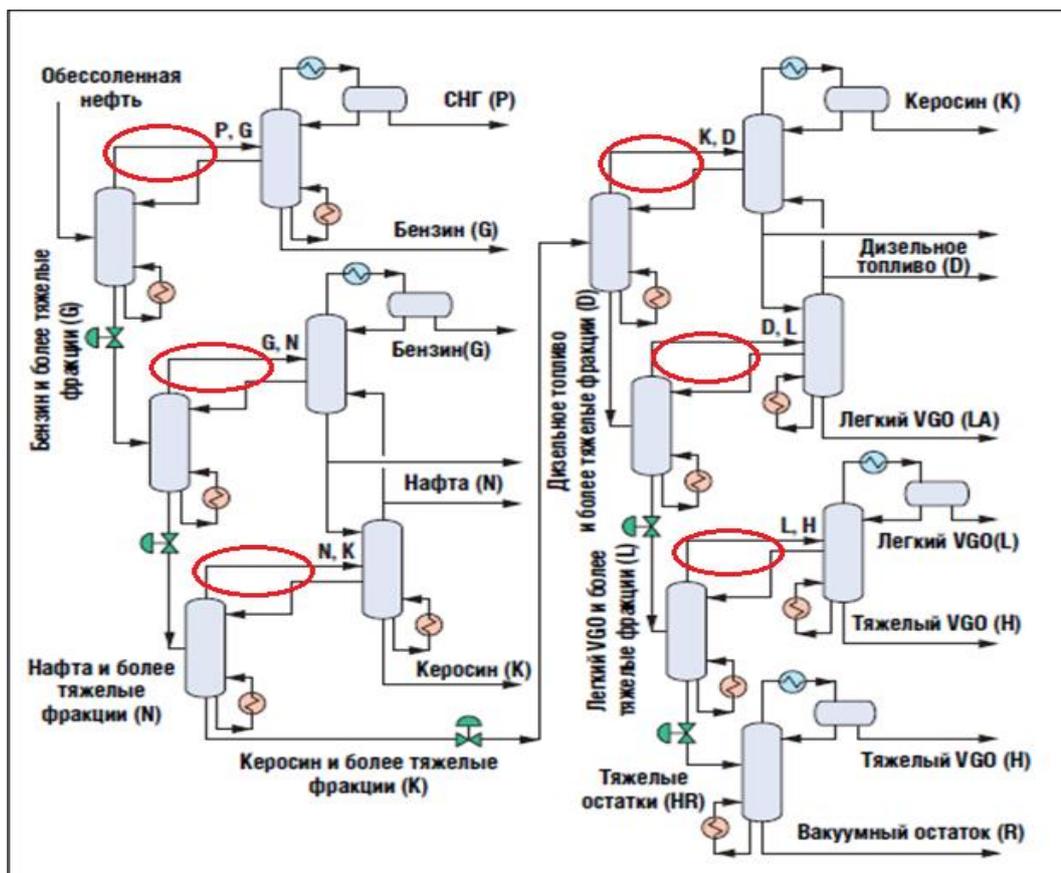


Рисунок 1.6 – Термически интегрированная установка АВТ с распределенной дистилляцией первого порядка

Для снижения числа теплообменников, конденсаторов и сокращения перепадов давления, орошение колонн предварительного фракционирования может обеспечиваться благодаря конечным фракционирующим колоннам. Кроме того, неполная конденсация верхнего продукта используется для создания теплового потока, что обеспечивает объединение фракционирующих колонн в эффективную схему. Непосредственное использование тепловой энергии в нижней колонне для нагрева верхней колонны повышает термическую эффективность процесса [9].

Для традиционного процесса значительное снижение теплопроизводительности печи и общего теплообмена может быть достигнуто за счет улучшенной тепловой интеграции, но при этом снижаются экономические преимущества из-за недостаточной для теплообмена температурной движущей силы, что приводит к увеличению площади поверхности теплообмена. Общий объем колонн не изменяется.

Для прогрессивной конфигурации дистилляции, с применением только распределенной дистилляции, теплопроизводительность печи, общий теплообмен и объем колонн значительно меньше, чем в обычном варианте, при этом не снижается температурная движущая сила. Если температурная движущая сила снижается в результате тепловой интеграции, то может быть достигнуто большее снижение теплопроизводительности за счет увеличения площади поверхности теплообмена [10]. Термически интегрированный процесс распределенной дистилляции первого порядка (см. Рисунок 1.7) требует меньше капитальных и энергетических затрат по сравнению с обычным. Но в этом процессе используется большое число позиций оборудования, требуются дополнительные насосы, трубопроводная обвязка и техническое обслуживание в процессе эксплуатации установки.

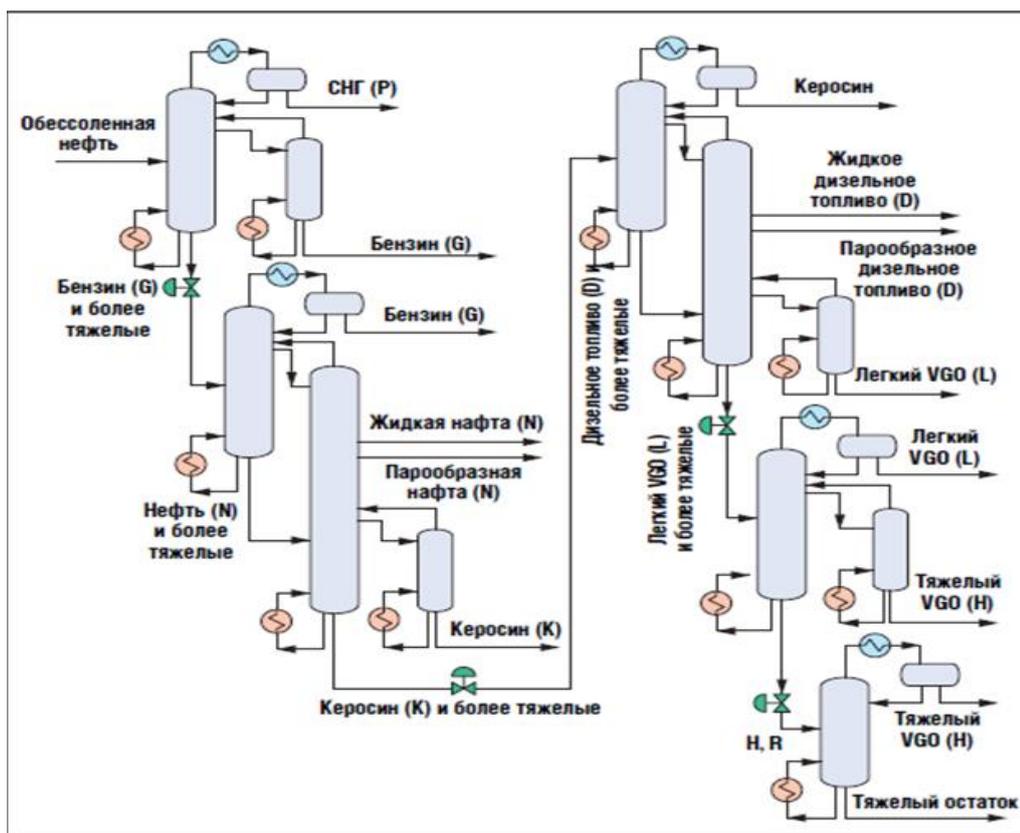


Рисунок 1.7 – Технологическая схема аппаратурного оформления термически интегрированной 2-х ступенчатой установки АВТ с распределенной дистилляцией первого порядка

Первая колонна и сепаратор СНГ-бензина монтируются на верхней части первой колонны в одном кожухе. Отпарная колонна отделения сепаратора

СНГ-бензина становится боковой отпарной секцией. Отделительная колонна для тяжелого вакуумного газойля и сепаратор легкого вакуумного газойля и тяжелого газойлей объединяются точно таким же образом. Сепаратор бензина-нафты, ректификационная колонна нафты-керосина и колонна частичного отделения керосина объединены в одном кожухе. Отпарная секция нафты-керосина становится боковой отпарной секцией на том же кожухе. Колонны для разделения керосина – дизельного топлива – легкого вакуумного газойля объединяются аналогичным образом [11].

Окончательный вариант механической интеграции представлен на рисунке 1.8. В ней сохраняется высокая термическая эффективность термически интегрированного процесса [12].

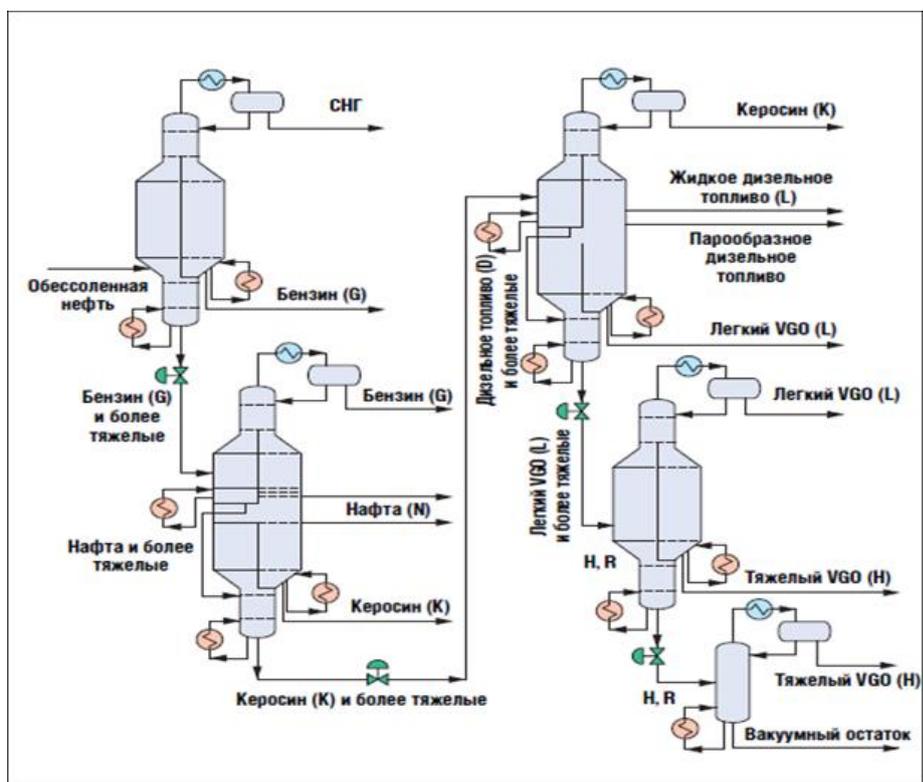


Рисунок 1.8 – Механически интегрированная и термически сочлененная установка АВТ с распределенной дистилляцией первого порядка

Механическое секционирование колонн или «колонна с отдельными стенками» уже стала технологией, проверенной временем. Первая колонна этого типа была введена в эксплуатацию в 1987 г. Они спроектированы и эксплуатируются европейскими, японскими и американскими компаниями.

Возникают эксплуатационные проблемы управления, но они преодолимы. Основная проблема при проектировании колонны с разделенными стенками заключается не в распределении жидкости между двумя перегородками в верхней части колонны, а, скорее, в распределении паров между двумя перегородками в нижней части колонны. Данная схема не нуждается в этом разделении, поскольку пары для каждой секции генерируются независимым ребойлером. Следовательно, эти колонны просты в проектировании, регулировании и управлении [13].

Таким образом, при формировании или модернизации технологической схемы следует идти по пути максимальной механической и тепловой интеграции колонн, с использованием только распределенной ректификации.

### **1.3 Современные запатентованные схемы фракционирования нефти**

Как говорилось ранее, в настоящее время существует множество различных способов фракционирования нефти. Ниже представлены современные запатентованные способы, которые способны повысить энергетическую эффективность, а также качество и полноту разделения.

1) Изобретение относится к нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, в частности к способам ректификации нефти. Способ ректификации характеризуется тем, что осуществляют подачу нагретой нефти в простую ректификационную колонну, отбирают пары легкой бензиновой фракции с ее верха и подают их в сложную ректификационную колонну, на верх простой ректификационной колонны подают орошение, нижний продукт простой ректификационной колонны нагревают в печи и подают в сложную ректификационную колонну, отбирают бензиновую фракцию с верха сложной колонны, конденсируют и охлаждают ее в конденсаторе-холодильнике, выводят из него охлажденную бензиновую фракцию, возвращают ее частично в сложную ректификационную колонну в виде орошения, балансовое количество бензиновой фракции выводят с установки, в сложной колонне отбирают дизельную фракцию в виде

бокового потока и выводят мазут из куба сложной колонны, в низ которой подают водяной пар. Подачу нагретой нефти в простую ректификационную колонну осуществляют в ее низ. Пары легкой бензиновой фракции из простой колонны подают в сложную ректификационную колонну над точкой ввода орошения. В качестве орошения простой ректификационной колонны используют часть бензиновой фракции из системы орошения сложной ректификационной колонны. Технический результат – уменьшение удельных энергетических затрат на переработку нефти, упрощение схемы процесса и увеличение отбора дизельной фракции [14].

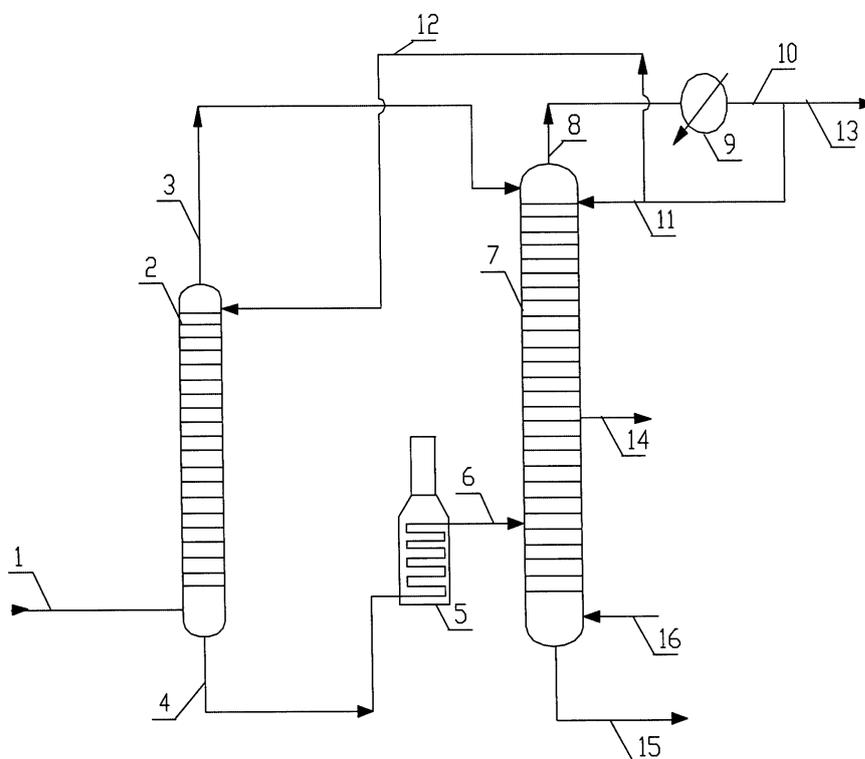


Рисунок 1.9 – Технологическая схема к описанию патента №1

2) Изобретение относится к нефтеперерабатывающей промышленности и может быть использовано при переработке нефти. Изобретение касается способа, включающего ввод нагретого сырья в колонну частичного отбензинивания с отбором с верха колонны легкой бензиновой фракции, также используемой в качестве флегмы, и отбор кубового остатка, нагрев кубового остатка в печи и его перегонку в сложной атмосферной колонне, оборудованной боковыми отпарными секциями, с подачей в низ

секций и сложной колонны водяного пара, отбор в сложной колонне балансового количества тяжелой бензиновой фракции, боковыми погонами через отпарные секции – керосиновой, легкой и тяжелой дизельных фракций и с низа сложной колонны – мазута. Нагретое сырье вводят в виде верхнего и нижнего потоков в колонну частичного отбензинивания, при этом нижний поток, который нагревают в печи и подают в куб колонны, представляет собой более половины сырья, балансовое количество тяжелой бензиновой фракции возвращают на орошение колонны частичного отбензинивания нефти и отводят вместе с легкой бензиновой фракцией и боковым погоном колонны частичного отбензинивания, подаваемым в сложную колонну в сечение между отборами из нее в отпарные секции керосиновой и легкой дизельной фракций, причем в секции выше отбора бокового погона колонны частичного отбензинивания необходимо иметь 64%, а в отгонной секции, расположенной выше ввода подогретого потока в куб колонны, - 9% от общего количества тарелок, установленных в колонне. Технический результат – увеличение производительности по сырью, снижение энергетических и капитальных затрат [15].

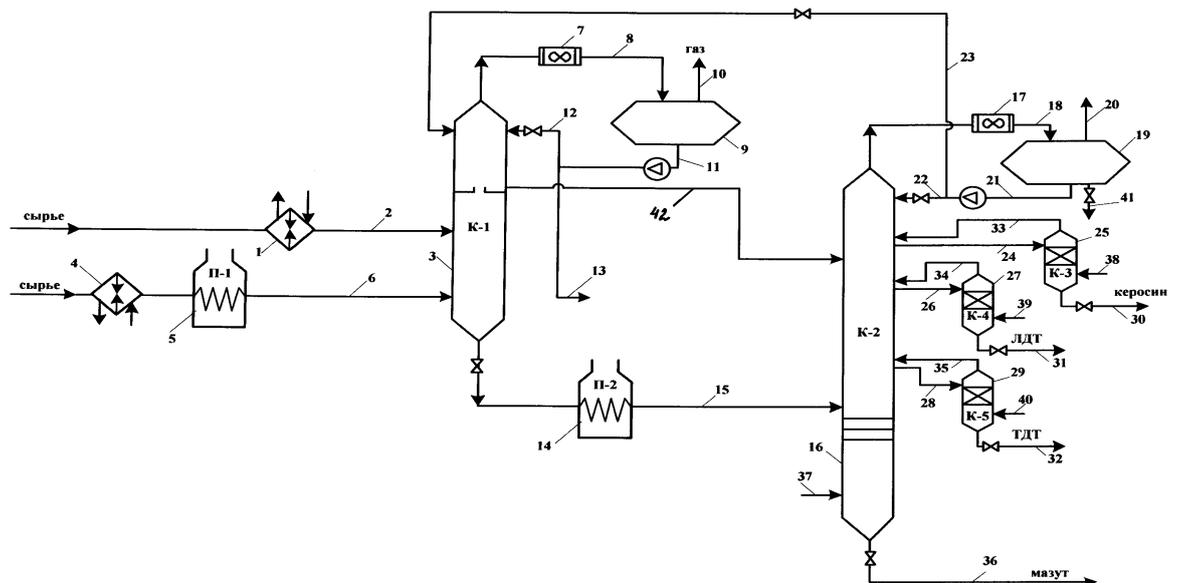


Рисунок 1.10 – Технологическая схема к описанию патента №2

3) Изобретение относится к нефтепереработке. Изобретение касается способа, включающего перегонку нефти, включающего ввод нагретого сырья в колонну частичного отбензинивания нефти с отбором с верха колонны бензиновой фракции, также используемой в качестве флегмы, и отбор кубового остатка, нагрев кубового остатка в печи и его перегонку в сложной атмосферной колонне, оборудованной боковыми отпарными секциями с подачей в низ секций и сложной атмосферной колонны нагретых потоков и использованием острого и циркуляционных орошений, отбор с верха сложной атмосферной колонны тяжелой бензиновой фракции, боковыми погонями через отпарные секции легкой и тяжелой дизельных фракций и с низа сложной атмосферной колонны мазута, стабилизацию бензиновых фракций с получением газа и стабильного бензина. Нагретое сырье вводят в виде верхнего и нижнего потоков в колонну частичного отбензинивания, при этом нижний поток представляет собой более половины сырья, который нагревают в печи и подают в куб колонны. Балансовый избыток тяжелой бензиновой фракции возвращают в колонну частичного отбензинивания, стабилизацию бензиновых фракций осуществляют выводом из зоны возврата тяжелой бензиновой фракции из колонны частичного отбензинивания бокового погона в отпарную секцию, в низ которой подводят тепло, с возвратом паров из отпарной секции в колонну частичного отбензинивания и выводом стабильного бензина. Балансовый избыток бензиновой фракции с верха колонны частичного отбензинивания полностью возвращают на верх отпарной секции этой колонны вместе с боковым погоном, жирный газ с верха емкости орошения колонны частичного отбензинивания подают в низ абсорбера, на верх которого подают охлажденную жидкость, отбираемую ниже отбора бокового погона в отпарную секцию тяжелой дизельной фракции, с верха абсорбера выводят газ, жидкость с низа абсорбера возвращают в колонну частичного отбензинивания ниже вывода бокового погона в отпарную секцию, ниже ввода этой жидкости с низа абсорбера в колонну частичного отбензинивания отбирают боковой погон и подают в сложную

атмосферную колонну ниже отбора бокового погона в отпарную секцию тяжелой дизельной фракции. Технический результат – снижение энергетических и капитальных затрат [16].

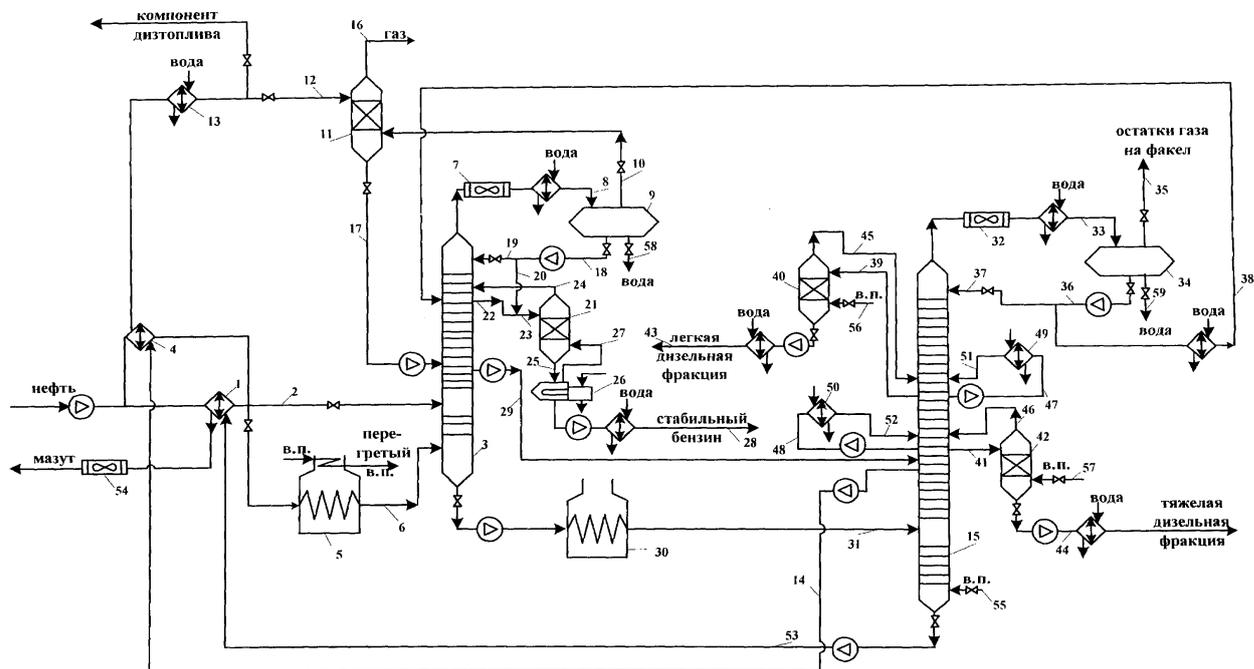


Рисунок 1.11 – Технологическая схема к описанию патента №3

4) Изобретение относится к способам первичной переработки нефти и может быть использовано в нефтеперерабатывающей промышленности. Изобретение касается способа перегонки нефти, включающего рекуперативный нагрев нефти, ее частичное отбензинивание в первой атмосферной колонне с отбором с верха колонны легкой фракции бензина, нагрев остатка первой атмосферной колонны в печи с подачей его в зону питания второй атмосферной колонны для разделения отбензиненной нефти на тяжелую фракцию бензина, керосин, дизельное топливо и мазут, с отбором из первой атмосферной колонны бокового погона с нижней полуглухой тарелки укрепляющей секции и подачей его на нижнюю полуглухую тарелку укрепляющей секции второй атмосферной колонны, с которой отводят дополнительным боковым погоном атмосферный газойль. Технический результат – снижение энергетических затрат на ведение процесса и увеличение отбора нефтепродуктов во второй атмосферной колонне [17].

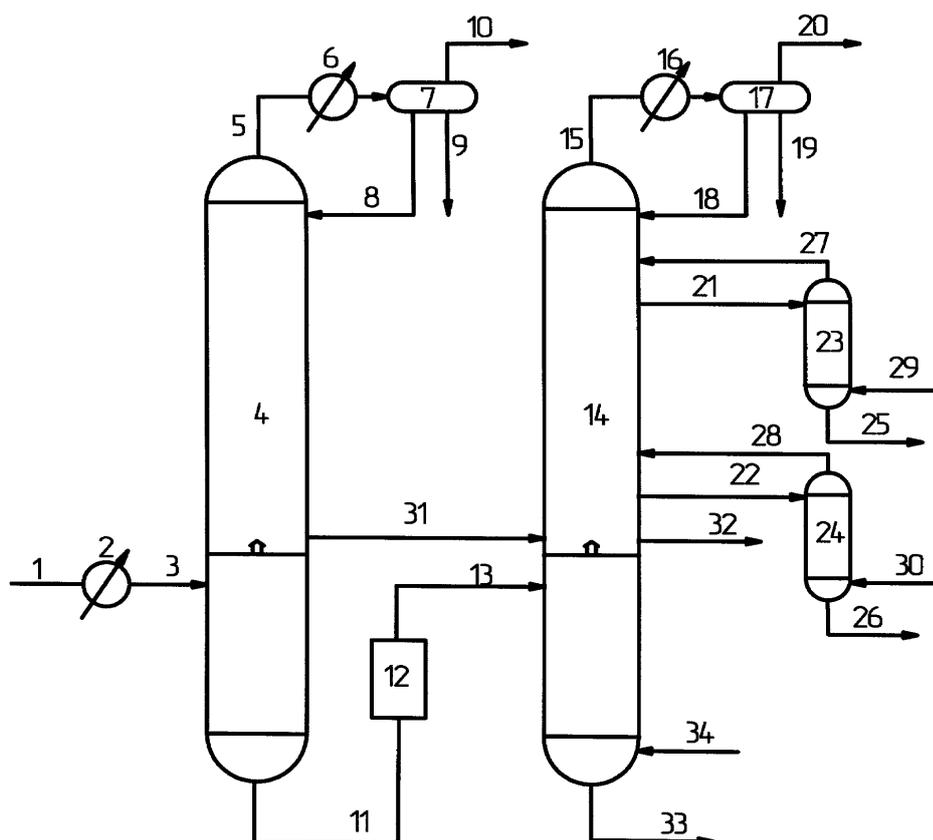


Рисунок 1.12 – Технологическая схема к описанию патента №4

#### 1.4 Современные запатентованные контактные устройства

В настоящее время также существует большое многообразие контактных устройств. Ниже представлены современные запатентованные контактные устройства, которые способны интенсифицировать тепло- и массообмен, следовательно, повысить эффективность разделения.

1) Изобретение относится к контактным устройствам, используемым в колонных массообменных аппаратах при больших жидкостных нагрузках, в газовой, нефтяной, химической и нефтехимической промышленности, в частности к переливным многопоточным тарелкам. Многопоточная контактная тарелка содержит основание с контактными элементами и переливными коробами, снабженными гидрозатворными устройствами, боковые стенки которых перфорированы вырезами различной конфигурации. Гидрозатворные устройства в нижней части снабжены конусными

рассекателями. Технический результат – увеличение производительности и диапазона устойчивой работы тарелки [18].

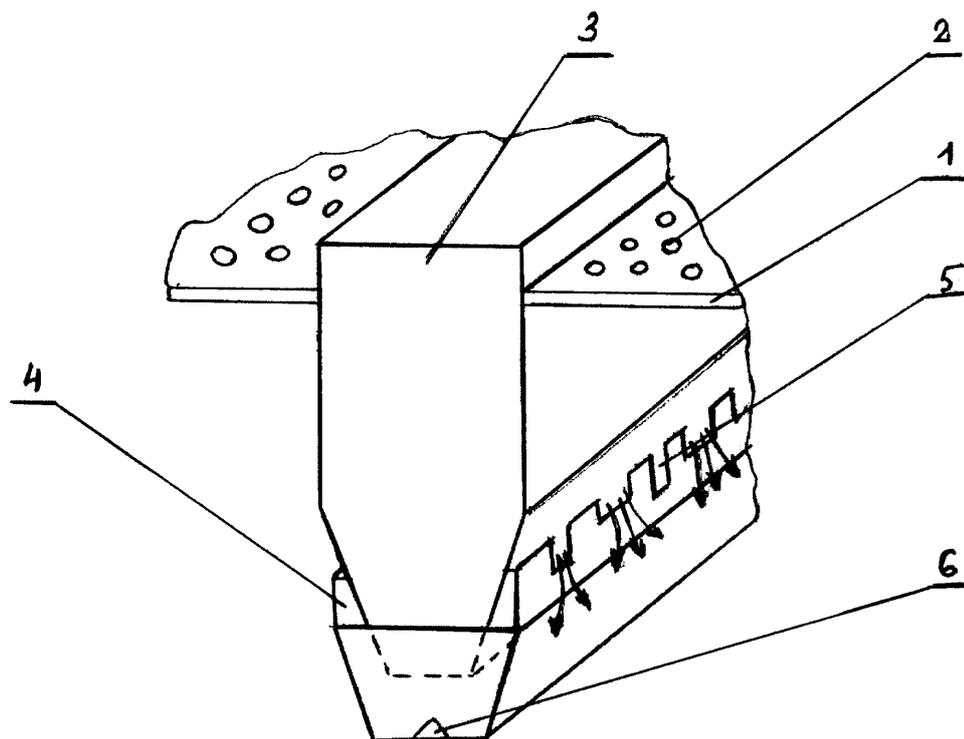


Рисунок 1.13 – Контактное устройство к описанию патента №1

2) Изобретение относится к конструкциям регулярных насадок для проведения тепло- и массообменных процессов в системе газ (пар) - жидкость, таких как ректификация, абсорбция, очистка и осушка природного газа. Регулярная насадка состоит из собранных в пакеты гофрированных листов двух разных видов. Гофрированные листы первого вида имеют вырезы на краях вершин гофр и спиралевидные ленты на краях вершинах гофр. Гофрированные листы второго вида имеют прорези в вершинах гофр. Гофрированные листы располагаются в пакете попеременно и вертикально вершинами гофр друг к другу так, что вершины гофр листа первого вида входят в прорези вершин гофр соседнего листа второго вида с образованием между ними щелей. При этом гофрированные листы образуют горизонтальные ромбовидные каналы и вертикальные зигзагообразные каналы. Технический результат – повышение интенсивности процессов тепло- и массообмена и эффективности работы регулярной насадки [19].

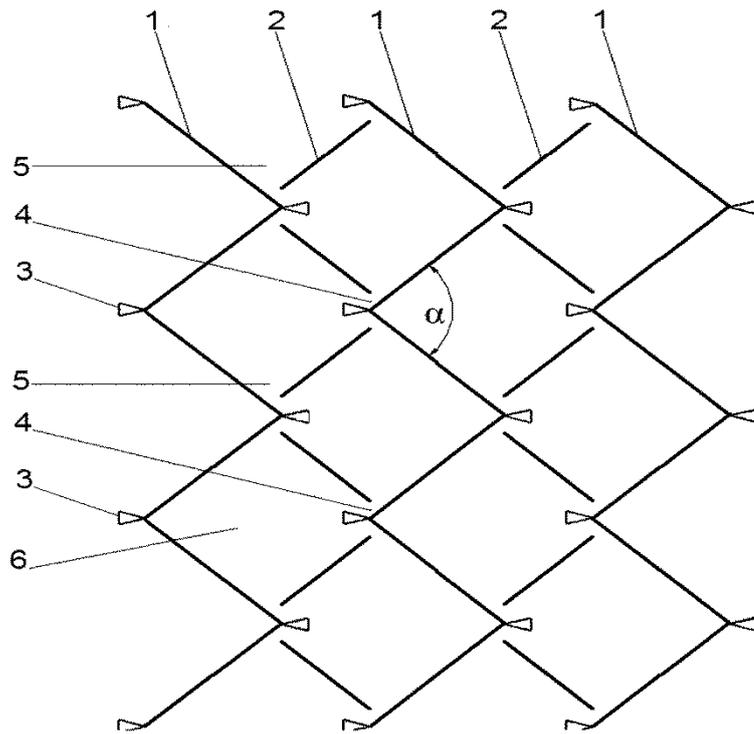


Рисунок 1.14 – Контактное устройство к описанию патента №2

## **2 Методы оценки эффективности технологических процессов**

На современном этапе развития техники и технологии, характеризующемся высоким уровнем разработки теоретических основ типовых технологических процессов и широким использованием математических методов исследований, объективная оценка технологической эффективности процессов приобретает особую актуальность [20].

Одним из широко применяемых методов оценки эффективности технологических процессов является эксергетический анализ [21].

Эксергетический анализ – это анализ, позволяющий оценивать термодинамическую эффективность различных технологических процессов, определять места эксергетических потерь, а также совершенствовать технологию, с точки зрения энергетической эффективности.

Эксергия – это качество термодинамической системы или потока энергии, определяемое численностью работы, которое может быть получено внешним приемником энергии при обратном их содействии с находящейся вокруг средой по установлению совершенного равновесия. По определению – работа служит мерой энергии [22].

При определении эксергии предметом рассмотрения выступают: система, окружающая среда, а также внешние объекты в находящейся вокруг среде, которые могут служить источниками или приемниками энергии. Эксергия, как и энергия системы, в любом данном состоянии имеет определенное значение. Термин «эксергия» даёт возможность четко увидеть неэквивалентность различных видов энергии. Так, невзирая на огромное количество теплоты в среде, окружающей нас, его техническая пригодность равна нулю, и для его применения нужно потратить еще определенное количество энергии (к примеру, при помощи теплового насоса). Взаимодействие системы с окружающей средой может протекать как обратимый процесс, так и необратимый. При идеальной обратимости будет получена работа, равная уменьшению эксергии. В реальном процессе работа будет меньше, чем

уменьшение эксергии, потому что часть ее теряется. Следовательно, если взаимодействие системы с окружающей средой происходит необратимо с увеличением энтропии, то эксергия системы уменьшается.

Эксергия количественно определяет энергию любого вида, а также позволяет определить ее качественную сторону. Она определяет превращаемость, пригодность энергии для технического использования в любых условиях. Так как эксергия является единой мерой работоспособности, пригодности энергетических ресурсов, ее введение позволяет дать объективную оценку энергетических ресурсов любого вида, в том числе и вторичных. Использование эксергии отходов производства не только уменьшает расход энергетического сырья, но и приводит к снижению финансовых вложений в добычу и переработку данного сырья. Таким образом, эксергия представляет собой некую универсальную меру энергетических ресурсов [23].

## **2.1 Системы автоматизированного проектирования**

САПР – системы автоматизированного проектирования существуют во всех отраслях промышленности и строительства. В зависимости от целей разработки, системы автоматизированного проектирования бывают универсальными и узконаправленными. Узконаправленные предназначены для расчётов отдельных процессов, аппаратов, а также их элементов. Универсальные построены таким образом, что позволяют рассчитать технологические схемы.

Интерфейс современных САПР позволяет использовать опыт проектировщика для исключения заведомо нереализуемых вариантов ХТС и сокращения времени поиска оптимального варианта. В качестве языка диалога применяется язык на базе профессиональной лексики, что существенно упрощает работу и освобождает проектировщика от необходимости изучения вычислительной техники и математики. Процесс моделирования полезен на

протяжении всего жизненного цикла процесса, от исследований и разработок до момента утилизации.

## **2.2 Структура систем автоматизированного проектирования**

Системы автоматизированного проектирования в общем случае состоят из технических средств, системного и прикладного математического обеспечения и средств ведения диалога.

- Технические средства содержат комплекс компьютеров и развитой периферии (широкий набор устройств ввода-вывода).
- Системное математическое обеспечение включает программы обслуживания самой ЭВМ, а также внешних устройств ЭВМ с целью обеспечения удобства ведения диалога и задания информации; оперативного изменения заданий на проектирование.
- Прикладное математическое обеспечение – программное обеспечение, реализующее математические модели объектов проектирования, которые составляют основу САПР и обычно представляются в виде универсальной моделирующей программы (УМП).

Современные прикладные пакеты построены по модульному принципу и содержат готовые математические модели основных процессов химической технологии.

Модульный принцип предполагает возможность включения отдельных процедур (моделей аппаратов) без нарушения функционирования схемы в целом. При необходимости можно заменять одни программные модули на другие.

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.

### 2.3 Современные системы автоматизированного проектирования

В настоящее время системы автоматизированного проектирования в области нефтепереработки представлены широким ассортиментом товарных знаков и продуктов.

- AspenTech – поставщик интеллектуальных программных продуктов и сервисов управления и проектирования для ХТ промышленности;
- Aurel Systems – разработчик программных продуктов для моделирования химических процессов;
- Bryan Research & Engineering, Inc. – поставщик программных продуктов ProMax с модулем TSWEET и PROSIM. Моделирующие программные продукты, используются для проектирования и оптимизации газо-, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств;
- CAPE-OPEN to CAPE-OPEN simulator (COCO) – это свободная операционная среда для моделирования стационарных режимов, состоящая из сред структуры ХТС, термодинамической среды, пакетов элементов ХТС и ещё ряда инструментов;
- Chemstations, Inc – Process Simulation Software – полный набор инструментов для моделирования стационарных или динамических состояний химических процессов. Работает с периодическими, полупериодическими и непрерывными системами;
- DESIGN II for Windows Process Simulation – точное моделирование химических и нефтехимических процессов, включая подготовку, разделение и переработку нефти и газа, кристаллизацию, а так же расчёт трубопроводов;
- Virtual Materials Group Inc – предлагают ПО для моделирования процессов нефтяной, газовой и химической промышленности [24].

В ходе выполнения экспериментальной части дипломной работы автором была задействована система автоматизированного проектирования HYSYS, наглядное описание возможностей которой представлено ниже.

Aspen HYSYS представляет собой программный пакет, 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. Наряду с возможностью статического моделирования технологических схем, позволяет в той же среде производить динамическое моделирование отдельных процессов и всей технологической цепочки, а также разрабатывать и отлаживать схемы регулирования процессов. Имеется возможность выполнять расчеты основных конструктивных характеристик сепарационного оборудования, емкостей, теплообменной аппаратуры, тарельчатых и насадочных ректификационных колонн и оценку стоимости оборудования. Программа имеет развитый графический интерфейс и хорошо интегрирована с офисными приложениями Microsoft.

Проектирование в HYSYS осуществляется в несколько последовательных этапов:

- Выбор веществ и уравнений для расчёта их свойств;
- Формирование технологической схемы и её расчёт;
- Вывод результатов

Для каждого этапа предполагается свой отдельный модуль, каждый из них состоит из других подмодулей. Кроме того, на любом этапе доступна настройка интерфейса программы под требования пользователя (выбор системы единиц измерения). Взаимосвязь между этапами прямая (если не завершён первый, то недоступен второй), однако вернуться на предыдущий можно в любой момент.

В состав HYSYS входят:

- База данных о физико-химических свойствах 10 тыс. различных веществ;
- 27 альтернативных пакетов для расчета физических свойств смесей;
- Пакет для описания нефтяных фракций и расчета их свойств;

- Методы термодинамических расчетов фазового равновесия в трехфазных системах «пар-легкая жидкость-тяжелая жидкость»;
- Компьютерные модели ректификационных и абсорбционных колонн, парожидкостных сепараторов, химических реакторов, теплообменников, кипятильников и холодильников, компрессоров, насосов и т.д.;
- Средства визуализации схем графические и текстовые редакторы;
- Математические методы и программные средства расчета и оптимизации химико-технологических схем, в том числе, с обратными связями;
- Средства формирования отчетов о результатах моделирования;
- Средства создания новых компьютерных моделей аппаратов химической технологии;
- Средства расширения существующей базы данных о физико-химических свойствах компонентов;
- Средства настройки интерфейса системы.

Перечисленное информационно-методическое и программное обеспечение системы позволяет эффективно решать широкий круг задач, возникающих при исследовании и оптимизации химико-технологических процессов, а полученные результаты, как правило, пользуются доверием в проектных и производственных организациях.

## **3 Экспериментальная часть**

### **3.1 Постановка задачи исследования**

Проблема энергосбережения и поиск оптимальных режимов эксплуатации установок фракционирования актуальны для большинства существующих НПЗ.

Целью ВКР является анализ технологических схем с точки зрения эксергетической и энергетической эффективности, а также проектирование основной колонны для более эффективной схемы.

Основной задачей исследования является проведение эксергетического анализа, который позволяет сравнить энергозатраты различных схем фракционирования нефти.

Построение моделей схем фракционирования нефти и подбор технологических параметров проведения процесса целесообразно выполнять в HYSYS.

Расчет эксергии потоков каждой из исследуемых схем может быть реализован с помощью программного пакета Microsoft Office Excel.

### **3.2 Объекты и методы исследования**

Исходными данными для расчета эксергии потоков послужили данные из HYSYS. В качестве исходных данных выступали данные о значениях температур, давлений, мольных долей фракций, теплоемкостей и т.д.

В качестве объекта исследования выступали две технологические схемы:

- 1) Двухколонная схема без интеграции потоков (ТС-I);

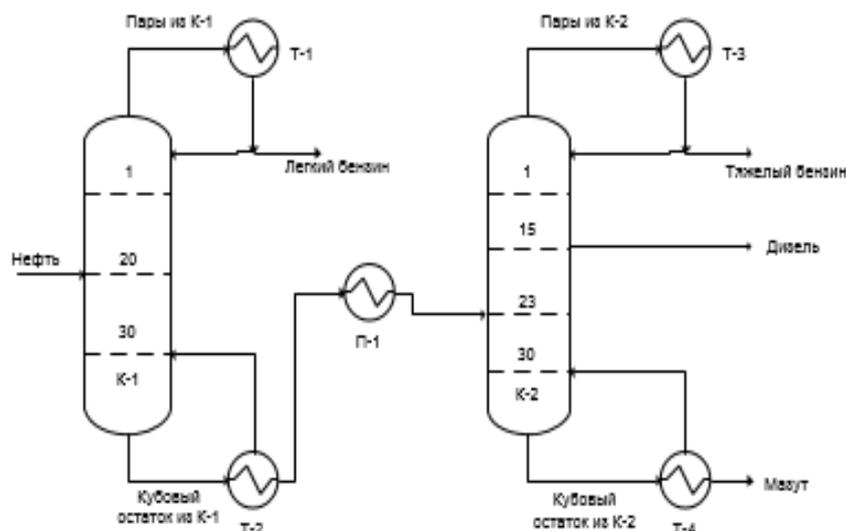


Рисунок 3.1 – Двухколонная схема без интеграции потоков

Нефть, предварительно нагревшись до 220 °С рекуперативным теплом продуктовых потоков, поступает на 20 тарелку колонны К-1. Верхом К-1 уходят пары бензиновой фракции, которые конденсируются в дефлегматоре и поступают в рефлюксную емкость. Из рефлюксной емкости сконденсировавшиеся пары поступают на орошение К-1 в виде флегмы. Балансовое количество отводится в качестве продукта (легкий бензин). Низом колонны уходит кубовый остаток, балансовое количество которого, пройдя через теплообменник с паровым пространством, в виде горячей струи подается в куб колонны. Часть остатка направляется в печь, где нагревается до температуры 350 °С и направляется на 23 тарелку колонны К-2. Верхом К-2 уходят пары бензиновой фракции, которые конденсируются в дефлегматоре и поступают в рефлюксную емкость. Из рефлюксной емкости сконденсировавшиеся пары поступают на орошение К-2 в виде флегмы. Балансовое количество отводится в качестве продукта (тяжелый бензин). С 15 тарелки происходит забор бокового продукта – дизельной фракции. Низом колонны уходит остаток в виде мазута, балансовое количество которого, пройдя теплообменник с паровым пространством, в виде рекуперативного потока поступает на нагрев нефти. Охладившись, мазут поступает в коллектор.

## 2) Двухколонная схема Петлюка (ТС-II);

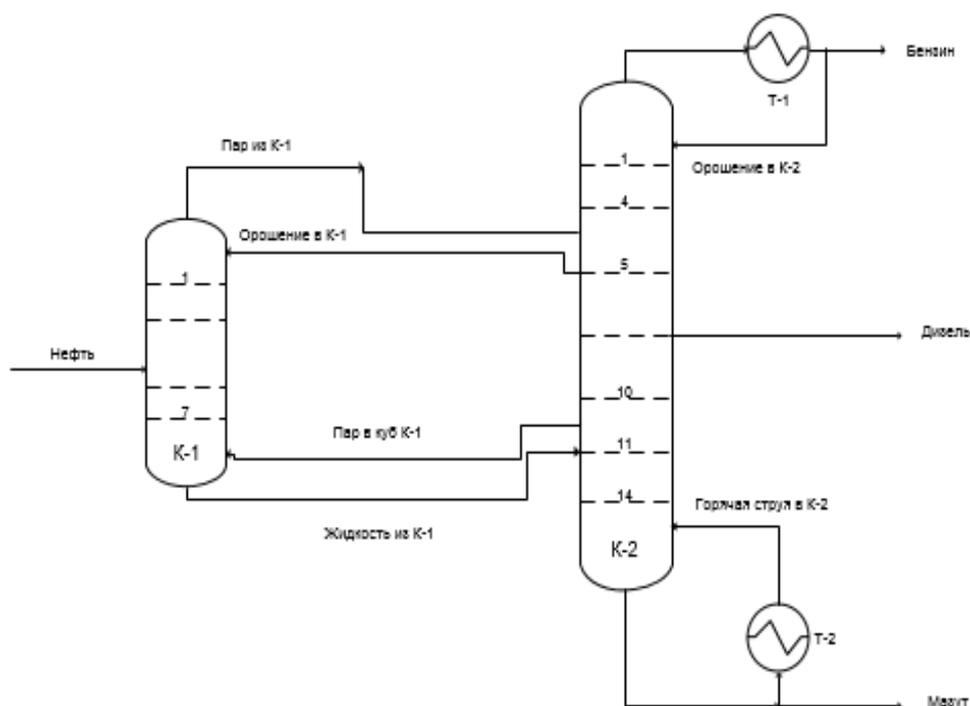


Рисунок 3.2 – Двухколонная схема Петлюка (с интеграцией потоков)

Установка представляет собой префракционатор (K-1) и основную ректификационную колонну (K-2), соединенных материальными потоками. В схеме отсутствуют дефлегматор и ребойлер, работающих на первую колонну, что является главной особенностью схемы.

Нефть, предварительно нагревшись до 262 °С рекуперативным теплом продуктовых потоков, поступает в префракционатор, где полностью делится на бензиновую фракцию и остаток с распределенной между ними дизельной фракцией. Паровой поток префракционатора поступает под 4-ю тарелку основной колонны. В качестве флегмы выступает поток, стекающий с 5-ой тарелки основной колонны. Кубовый остаток префракционатора поступает на 11-ю тарелку основной колонны. Паровой поток префракционатора обеспечивается паровым потоком, забираемым между 10-ой и 11-ой тарелкой.

Верхом основной колонны уходят пары бензиновой фракции, которые конденсируются в дефлегматоре и поступают в рефлюксную емкость. Из рефлюксной емкости сконденсировавшиеся пары поступают на орошение

основной колонны в виде флегмы. Балансовое количество отводится в качестве продукта. С 7-ой тарелки происходит забор бокового продукта – дизельной фракции. Низом колонны уходит остаток в виде мазута, балансовое количество которого, пройдя теплообменник с паровым пространством, в виде рекуперативного потока поступает на нагрев нефти. Охладившись, мазут поступает в коллектор.

### 3.3 Построение моделей в HYSYS

Разработка моделей исследуемых схем была проведена на кафедре ХТТ и ХК. Полученные модели адекватно описывают процесс фракционирования, а получаемые продукты соответствуют требованиям к качеству.

- Модель двухколонной схемы без интеграции (см. Приложение А, Рисунок 3.3);
- Модель двухколонной схемы Петлюка (см. Приложение А, Рисунок 3.4).

### 3.4 Методика расчета эксергии технологических потоков

#### 3.4.1 Расчет химической составляющей эксергии

Молекулярный состав нефти и фракций в большинстве случаев неизвестен, поэтому в качестве окружающей среды или вещества отсчета принимается гипотетическое вещество – идеальный газ состава фракции (фракция является «компонентом» смеси).

Химическая эксергия потока (нефти или фракции) определяется суммой работ: обратимого процесса перевода вещества из жидкого состояния в парообразное  $-l_{обр}^{жс}$ , обратимого процесса перевода паров в идеальное состояние  $-l_{обр}^n$  и обратимой работы разделения (только для исходной нефти) идеальной газовой смеси  $-l_{обр}^u$ .

$$ex_x = l_{обр}^{жс} + l_{обр}^n + l_{обр}^u \quad (3.1)$$

Работа обратимого процесса перевода жидкости в парообразное состояние составит:

$$l_{обр}^{ж} = q_n \frac{T_k - T_0}{T_k} \quad (3.2)$$

где  $q_n$  – теплота испарения, кДж/моль;

$T_k$  – средняя температура кипения фракции.

$$q_n = T_{cp}(36,63 + 19,13 \lg T_{cp}) \quad (3.3)$$

Для расчета второй составляющей, рассмотрим абстрактный процесс обратимого изотермического расширения реальных паров фракции в реальной расширительной машине. Перевод реальных паров в идеальное газовое состояние должен сопровождаться изменением энергии в результате разрыва межмолекулярных связей. Изменение энергии равно максимальной работе процесса, если этот процесс является обратимым.

В предположении, что эта работа с достаточной степенью точности равна работе, реально затраченной на изотермическое расширение паров фракции до определенного характеристиками машины остаточного давления, можно рассчитать вторую составляющую химической эксергии (изменениями энтальпии пренебрегаем):

$$l_{обр}^n = \frac{1}{\eta_u} \frac{Z_0}{Z_u} RT_0 \ln \frac{P_0}{P_u} \quad (3.4)$$

где  $\eta_u$  – изотермический КПД процесса расширения (принимается равным 0,7);

$Z_0$  и  $Z_u$  – коэффициенты сжимаемости при  $p_0 = 0,1$  МПа,  $T_0 = 298$  К и  $p_u = 0,01$  МПа,  $T_0 = 298$  К соответственно;

$p_0$  и  $p_u$  – начальное и конечное давление, определяемое характеристиками расширительной машины.

Оценка третьей составляющей производится на основании следующей формулы:

$$l_{обр}^u = -RT_0 \sum x_i \ln x_i \quad (3.5)$$

где  $x_i$  – мольная доля фракции.

Расчет этой составляющей имеет смысл только для смеси фракций.

В общем виде формула для расчета химической эксергии будет иметь вид:

$$ex_x = q_n \frac{T_k - T_0}{T_k} + \frac{1}{\eta_{ид}} \frac{Z_0}{Z_{ид}} RT_0 \ln \frac{p_0}{p_{ид}} - RT_0 \sum x_i \ln x_i \quad (3.6)$$

### 3.4.2 Расчет физической составляющей эксергии

Физическую эксергию  $ex_\phi$  обычно представляют в виде суммы изобарной  $ex_p$  (термической) и изотермической  $ex_T$  (механической) составляющих:

$$ex_\phi = ex_p + ex_T$$

$$ex_T = \int_{T_0}^T \frac{T - T_0}{T} dh(T) = \int_{T_0}^T \tau_e dh(T) \quad (3.7)$$

где  $\tau_e$  – эксергетическая температурная функция, равная КПД Карно;

$h(T)$  – зависимость энтальпии от температуры.

$$dh = C_p dT \quad (3.8)$$

Изобарная составляющая будет иметь в вид:

$$ex_p = RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (3.9)$$

Изотермическая составляющая:

$$ex_T = \frac{(T - T_0)^2}{T} C_p \quad (3.10)$$

Результаты расчетов эксергии для двух технологических схем приведены в таблицах 3.1 – 3.4.

Таблица 3.1 – Двухколонная схема без интеграции потоков

Продуктовый поток	Физическая эксергия, Дж/кг	Химическая эксергия, Дж/кг	Удельная эксергия, кДж/кг
Бензин	179244,44	30401,78	209,65
Дизель	190446,64	38206,17	228,65
Мазут	224207,91	45735,73	269,94

Таблица 3.2 – Двухколонная схема без интеграции потоков дополненная рекуперацией тепла материальных потоков

Продуктовый поток	Физическая эксергия, Дж/кг	Химическая эксергия, Дж/кг	Удельная эксергия, кДж/кг
Бензин	151030,19	28720,53	179,75
Дизель	156889,03	31380,46	188,27
Мазут	164094,01	32773,54	196,87

Таблица 3.3 – Двухколонная схема Петлюка

Продуктовый Поток	Физическая эксергия, Дж/кг	Химическая эксергия, Дж/кг	Удельная эксергия, кДж/кг
Бензин	215780,43	28900,90	244,68
Дизель	289477,71	37353,18	326,83
Мазут	340858,26	44976,18	385,83

Таблица 3.4 – Двухколонная схема Петлюка дополненная рекуперацией тепла материальных потоков

Продуктовый Поток	Физическая эксергия, Дж/кг	Химическая эксергия, Дж/кг	Удельная эксергия, кДж/кг
Бензин	208801,80	28334,75	237,14
Дизель	212521,65	29499,52	242,02
Мазут	222175,25	30497,63	252,67

### 3.5 Анализ результатов и выводы

На основании полученных значений эксергии может быть сделан вывод о большей энергоэффективности двухколонной схемы Петлюка (схемы с интеграцией потоков), поскольку по полученным результатам видно, что для разделения нефти на фракции и рекуперации тепла материальных потоков по данной схеме требуется меньше энергии, по сравнению со схемой без интеграции потоков. Таким образом, расчеты удельной эксергии позволили сравнить энергозатраты исследуемых схем, оценить энергетический потенциал отходящих потоков, а также выбрать оптимальную технологическую схему.

### 3.6 Проектирование основной колонны схемы Петлюка

#### 3.6.1 Исходные данные

Таблица 3.5 – Состав сырья

T, °C	% об. выкипания	T, °C	% об. выкипания
49,8	0,1	220	32,3
80	6,0	230	34,3
90	8,0	240	36,3
100	9,7	250	38,3
110	11,7	260	40,3
120	13,7	270	42,3
130	15,7	280	44,0
140	18,0	290	45,7
150	20,0	300	48,0
160	22,1	310	50,0
170	23,3	320	52,0
180	25,3	330	54,0
190	27,0	340	56,0
200	28,7	350	58,3
210	30,3	360	62,5

- Плотность при  $T = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $849,6 \text{ кг/м}^3$ ;
- Плотность при  $T = 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $853,2 \text{ кг/м}^3$ ;
- Расход сырья –  $18,5 \text{ т/час}$ ;
- Требования к продуктам – содержание компонентов с  $T_{\text{кип}} > 355$  не выше  $1\%_{\text{масс}}$ .

Таблица 3.6 – Требования к дистилляту

T н.к., °C	Не нормируется
T 10 %, °C	Не выше 65
T 50 %, °C	Не выше 110
T 90 %, °C	Не выше 180
T к.к., °C	Не выше 215

### 3.6.2 Технологический расчет основной колонны

Моделирование основной колонны осуществлялось при использовании универсальной системы моделирования HYSYS.

В качестве исходных данных используем данные о фракционном составе нефти, значения расходов и плотностей (см. Таблица 3.5). Кроме того, известны данные о требовании к дистилляту (см. Таблица 3.6).

Проектирование начинается с ввода известных величин в соответствующие поля программы.

- Расчет углеводородных систем производится методом уравнения состояния Peng-Robinson.
- Метод перегонки нефтепродуктов выбран стандартный – ASTM D86 при атмосферном давлении.
- Модель колонны – Distillation Column с дефлегматором и кипятильником.

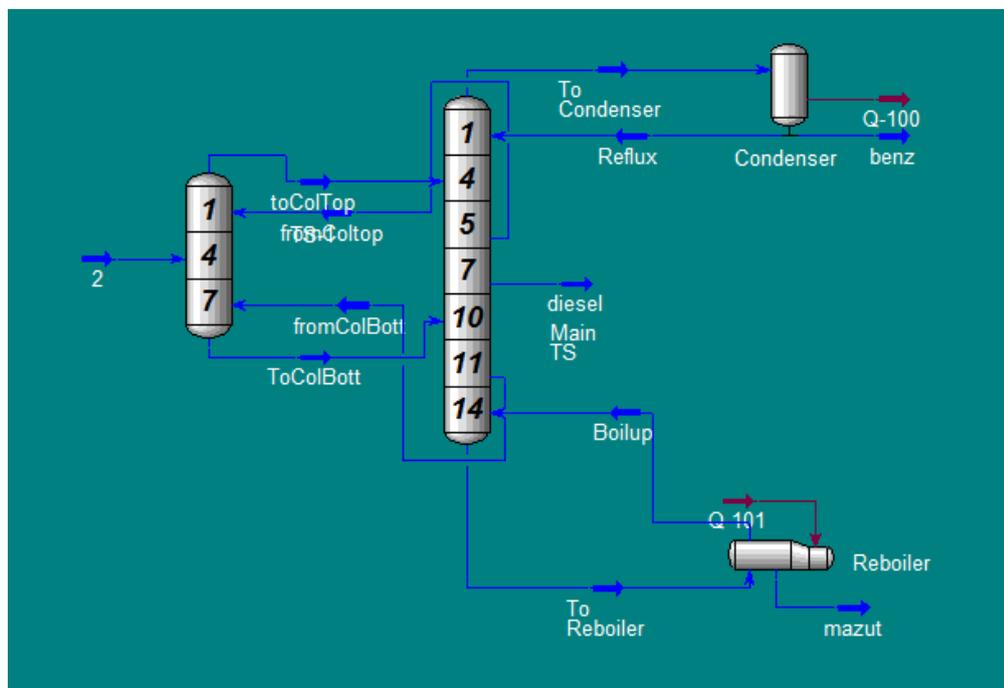


Рисунок 3.5 – Двухколонная Схема Петлюка (Column Environment)

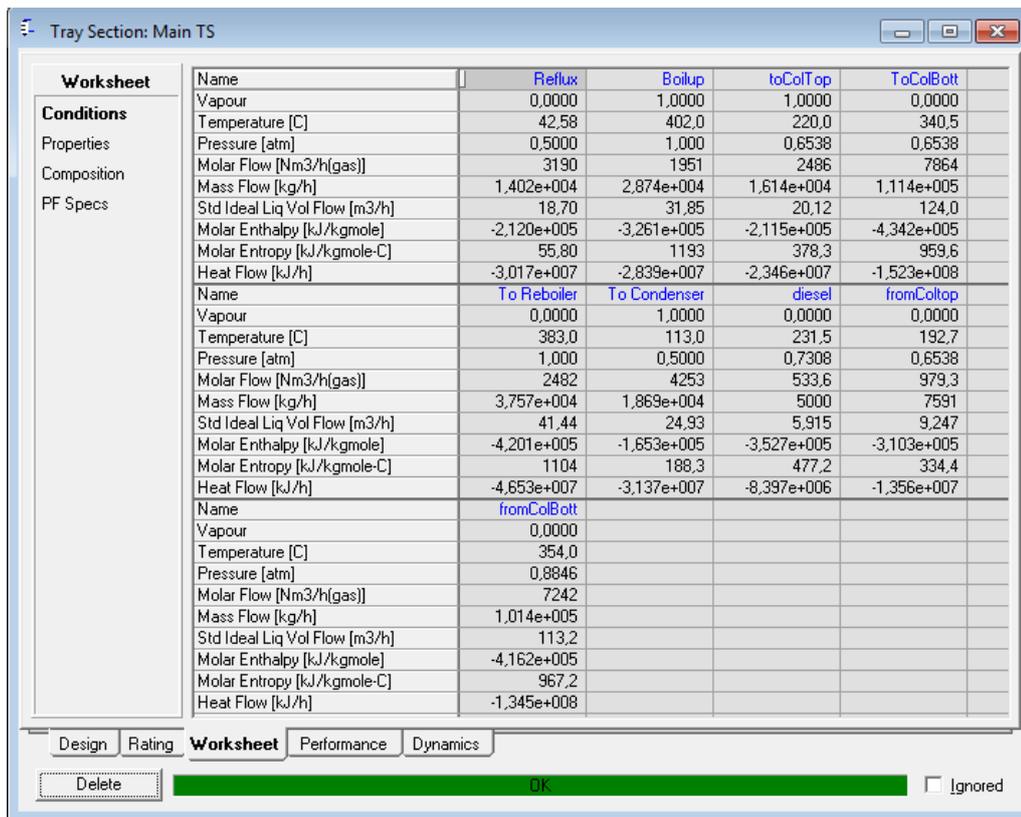


Рисунок 3.6 – Рабочее окно программы HYSYS. Балансы колонны

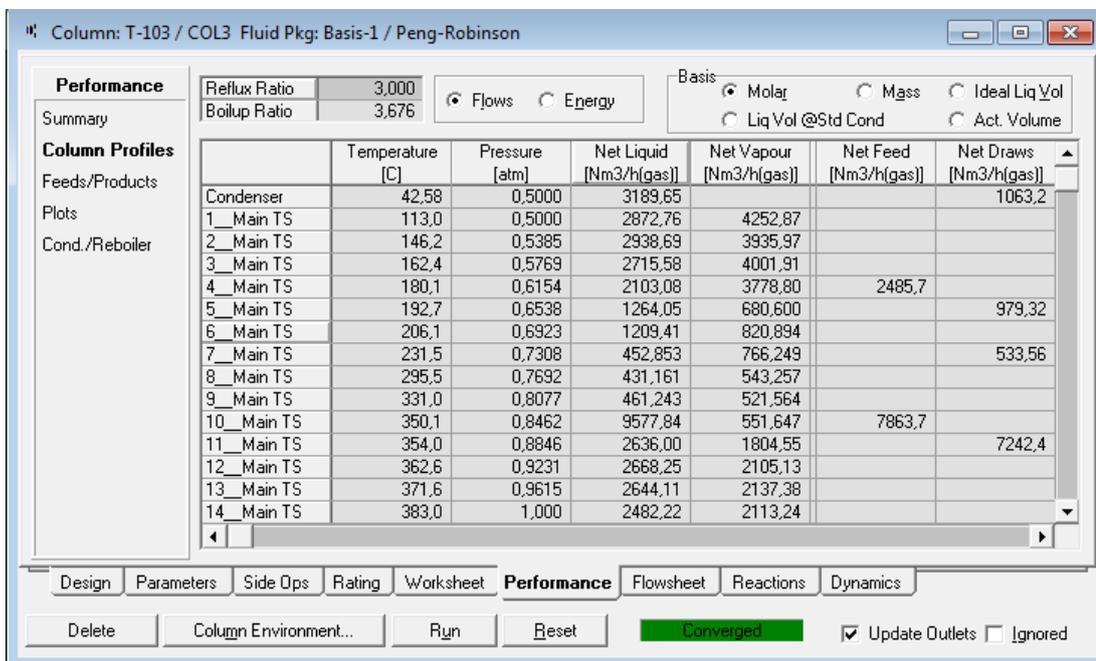


Рисунок 3.7 – Данные по колонне

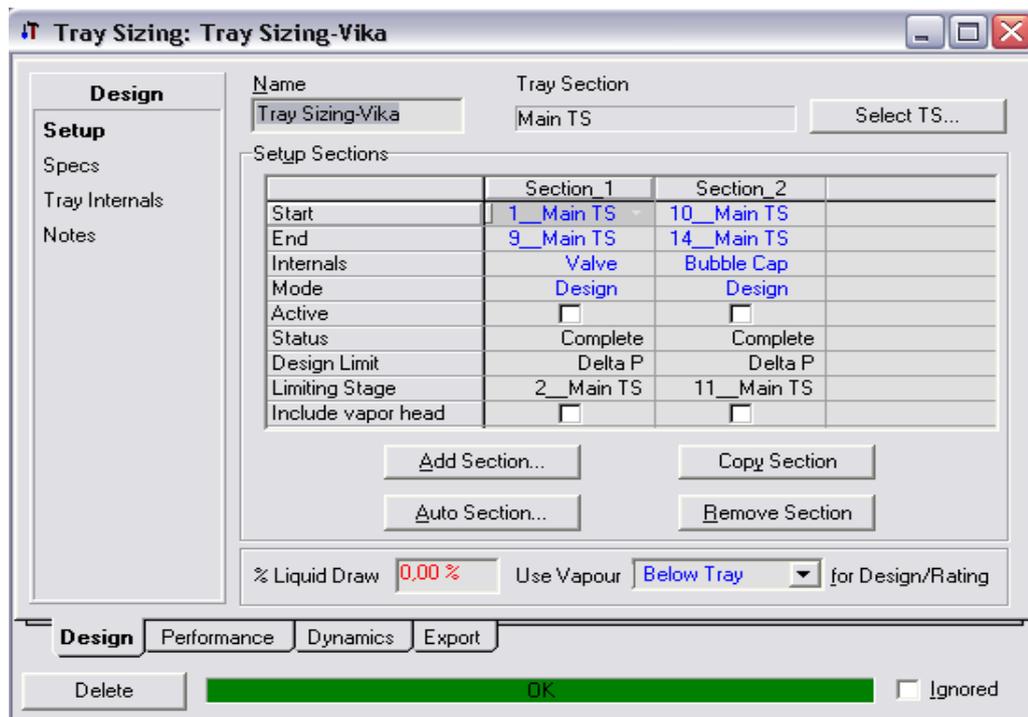


Рисунок 3.8 – Выбор типа тарелок в зависимости от паровых нагрузок по высоте основной колонны

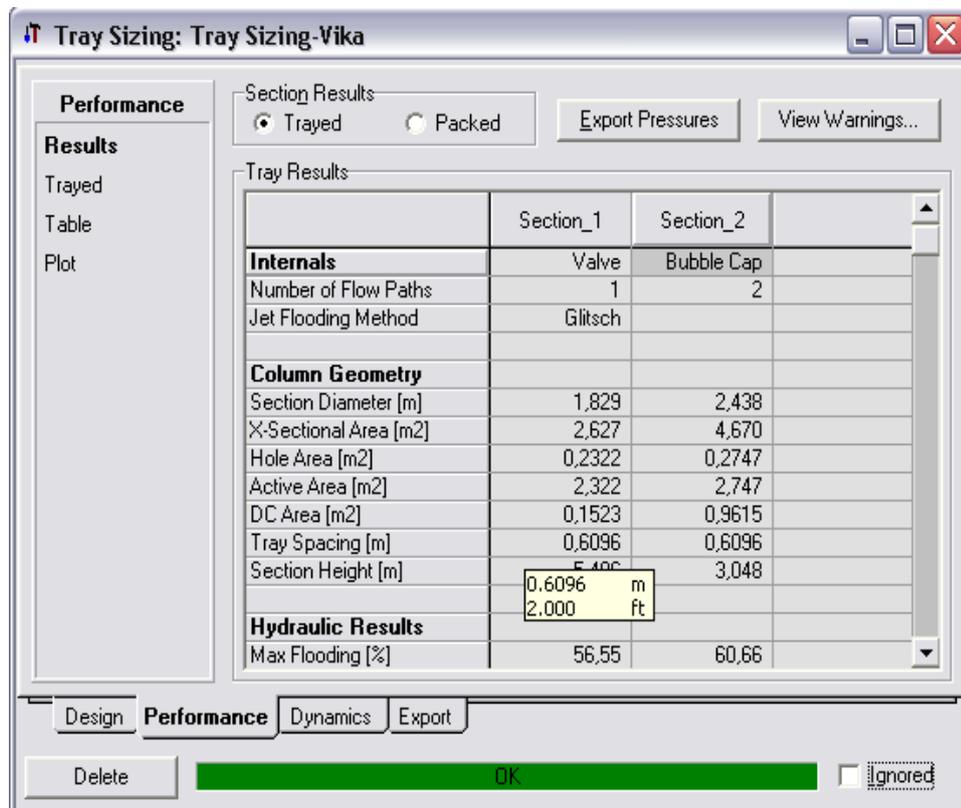


Рисунок 3.9 – Результаты расчета диаметра колонны (2 секции)

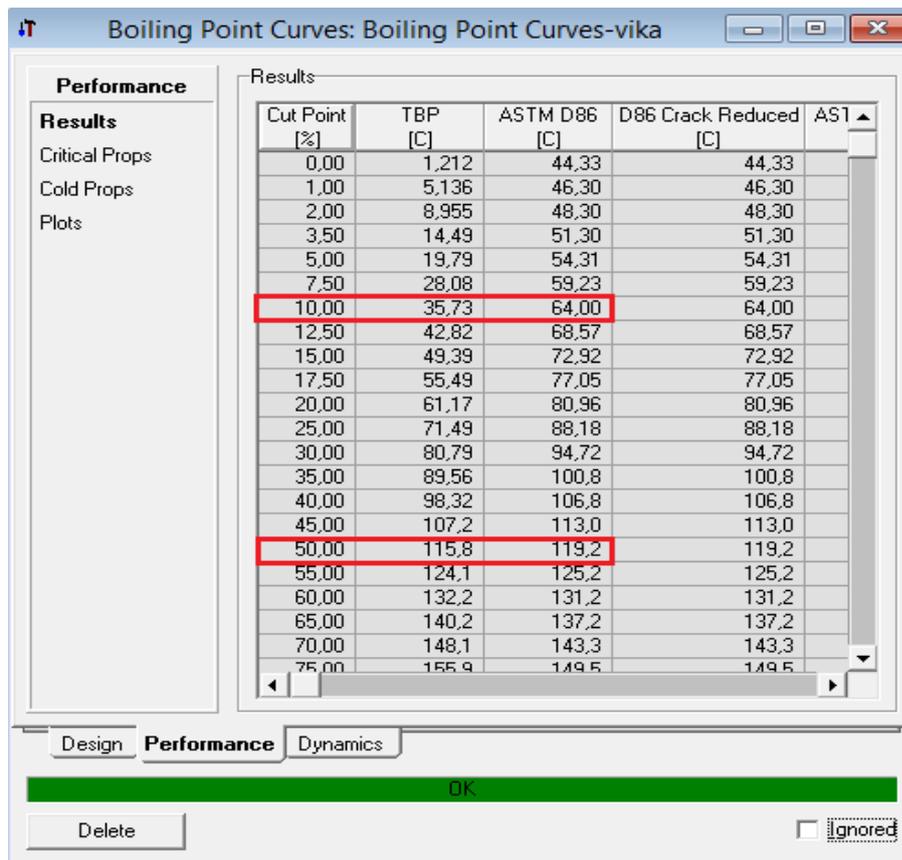


Рисунок 3.10 – Данные кривой разгонки дистиллята

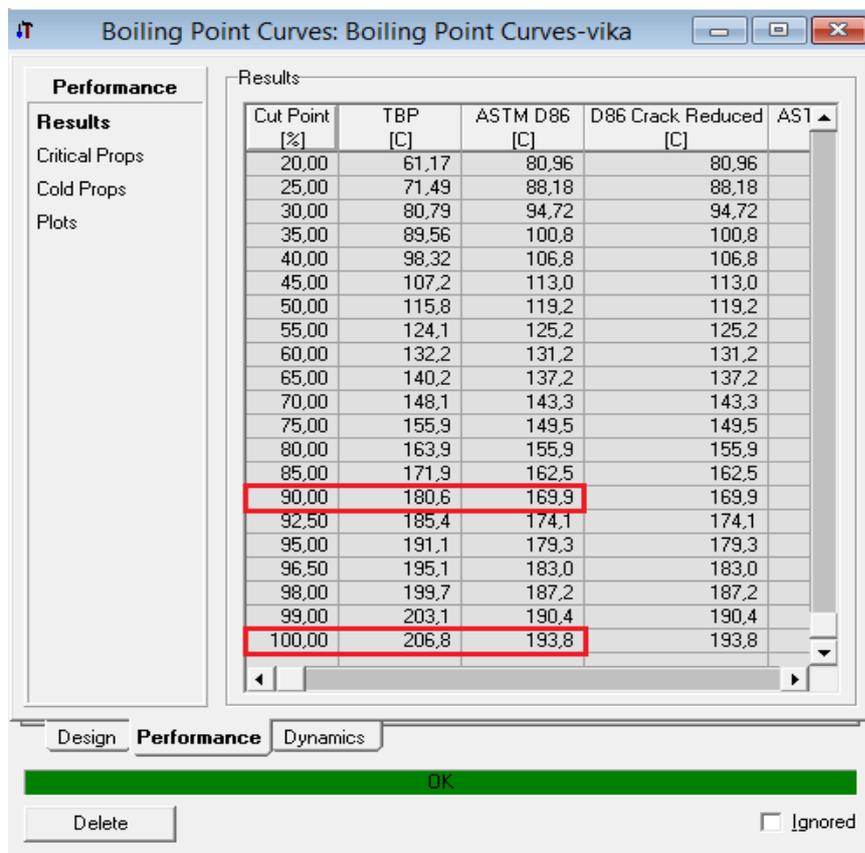


Рисунок 3.11 – Данные кривой разгонки дистиллята (продолжение)

Данные кривой разгонки дистиллята говорят о том, что получаемый продукт соответствует требованиям, предъявленным в таблице 3.6, следовательно, колонна спроектирована должным образом, а также подобран оптимальный режим работы.

Таблица 3.7 – Расчетные размеры колонны

	1 секция (1-9)	2 секция (10-14)
Диаметр колонны, м	1,829	2,438
Высота колонны, м	5,486	3,048
Межтарельчатое расстояние, м	0,6096	0,6096

Согласно ГОСТ 21944-76 выбираем для колонных аппаратов с контактными устройствами в виде тарелок стандартные диаметры 2000 и 2600 мм. Для первой секции с 1 по 9 тарелку диаметром 2000 мм в зависимости от паровых нагрузок выбираем клапанные тарелки, а для второй секции с 10 по 14 тарелку диаметром 2600 мм также в зависимости от паровых нагрузок выбираем колпачковые тарелки. Расстояние между тарелками 600 мм. Высоту цилиндрической части колонны принимаем равной 10800 мм.

Далее был проведен механический расчет основной колонны, результатами которого являются:

- Толщина тепловой изоляции – 10 см;
- Материал для тепловой изоляции – совелит;
- Толщина стенки обечайки – 14 мм;
- Толщина стенки крышки и днища – 14 мм;
- Количество штуцеров – 9;
- Максимальная масса колонны – 73372,6 кг;
- Вес колонны – 719051,3 Н = 0,72 МН;
- Толщина ребра опоры – 14 мм.

Механический расчет колонны приведен в Приложении Б, сборочный чертеж колонны в Приложении В.

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение**

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

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

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

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

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

Целесообразно выбрать два наиболее значимых критерия: размер компании и отрасль, по которым будет производиться сегментирование рынка.

Размер компании очень важен, т.к. крупные компании часто используют новые технологии и могут поддаться риску, потому что имеют возможность возместить убытки.

Что касается отраслей, то не все предприятия могут пользоваться данным исследовательским проектом, а только нефтяная промышленность. Отсюда вытекает географический критерий, потому что не всякий регион и не всякая страна имеет газовые и нефтяные ресурсы.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка

		Отрасль	
		Газодобывающие предприятия	Нефтегазодобывающие предприятия
Размер компании	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		

	Роснефть		Газпром		Атомконверс		Новатэк		Норд Импернал
--	----------	--	---------	--	-------------	--	---------	--	---------------

Как видно из таблицы основными сегментами рынка являются крупные и малые компании. Следовательно, наиболее перспективным сегментом в отраслях нефтегазодобычи и нефтепереработки для формирования спроса является группа независимых крупных и средних нефтедобывающих компаний.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;

- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл.4.2.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1 Повышение производительности труда пользователя	0,07	5	3	2	0,35	0,21	0,14
2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,20	5	1	4	1,0	0,20	0,8
3 Энергоэкономичность	0,10	5	4	4	0,5	0,4	0,4
4 Надежность	0,05	5	4	5	0,25	0,20	0,25
5 Безопасность	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1 Конкурентоспособность продукта	0,07	5	3	3	0,35	0,21	0,21
2 Уровень проникновения на рынок	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
3 Цена	0,08	5	4	4	0,4	0,36	0,36
4 Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5 Послепродажное обслуживание	0,07	5	3	2	0,35	0,21	0,14
6 Финансирование научной разработки	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
7 Срок выхода на рынок	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
8 Наличие сертификации разработки	0,05	4	5	2	0,2	0,25	0,1
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>62</b>	<b>49</b>	<b>48</b>	<b>4,86</b>	<b>3,46</b>	<b>3,79</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Конкурентоспособность разработки составила 4,86, в то время как двух других аналогов 3,46 и 3,79 соответственно. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как удобство эксплуатации для потребителей, энергоэкономичность, предполагаемый срок эксплуатации.

#### 4.1.3 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.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табл.4.3.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Простота применения</p> <p>С2. Адекватность разработки</p> <p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Относительно невысокая денежная и временная затратность проекта</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Отсутствие сертификации</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл.4 Отсутствие бюджетного финансирования.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p>	<p>Простота применения и адекватность разработки может вызвать спрос на нее, а это в свою очередь увеличит количество спонсоров. Кроме того,</p>	<p>Инновационная инфраструктура ТПУ может оказать помощь в финансировании проекта. При снижении</p>

<p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки</p> <p>В3. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок</p>	<p>унифицированность и адекватность разработки может уменьшить конкурентоспособность других разработок.</p> <p>Невысокая затратность проекта может привлечь больше сотрудников и исполнителей.</p>	<p>конкурентоспособности подобных разработок и при появлении спроса на новые может появиться возможность использования данной НИР в компаниях использующих традиционные методы переработки нефти.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии</p> <p>У2. Значимая конкуренция</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации</p> <p>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>В силу того, что в данной разработке используется более новая информация наряду со старой, то это может повысить спрос и конкуренцию разработки. В силу малой затратности проекта представляется возможность вложения дополнительных денежных средств в другие услуги, такие как сертификация.</p>	<p>Отсутствие прототипа научной разработки говорит об отсутствии спроса на новые технологии и отсутствии конкуренции проекта. Несвоевременное финансирование научного исследования приведет к невозможности получения сертификации.</p>

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа, который 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 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 «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта

<b>Сильные стороны проекта</b>					
<b>Возможности проекта</b>		C1	C2	C3	C4
	B1	-	-	-	+
B2	-	-	-	+	
B3	+	+	+	-	
B4	+	+	+	-	
<b>Сильные стороны проекта</b>					
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3	C4
	У1	0	+	0	-
	У2	+	+	+	+
	У3	-	-	-	0
	У4	-	-	-	-
<b>Слабые стороны проекта</b>					
<b>Возможности проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	+
	B2	-	-	0	+
	B3	+	+	+	0
	B4	+	+	-	-
<b>Слабые стороны проекта</b>					
<b>Угрозы проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	0
	У2	0	+	0	-
	У3	-	0	-	-
	У4	-	+	-	+

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. В этом случае, возможности описываются следующим образом: B2B3C2C3.

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (табл. 4.5).

Таблица 4.5 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>C1. Простота применения</p> <p>C2. Адекватность разработки</p> <p>C3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>C4. Относительно невысокая денежная и временная затратность проекта</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Отсутствие сертификации</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл.4 Отсутствие бюджетного финансирования.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>V1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>V2. Появление потенциального спроса на новые разработки</p> <p>V3. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок</p>	<p>Простота применения, адекватность разработки, использование более свежей информации в проекте увеличит спрос и конкурентоспособность НИР (V3,V4,C1,C2,C3). При подключении в работу инновационных структур уменьшается время разработки и появляются дополнительные денежные средства(V1,V2,C4).</p>	<p>Помощь в финансировании проекта и его сертификации могут оказать инновационные инфраструктуры(V1,V2,Сл2,Сл4). Необходимо снизить конкурентоспособность подобных разработок и расширить использование данной НИР во многих компаниях (V3,V4,Сл1,Сл3).</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии</p> <p>У2. Значимая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации</p> <p>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Использование более новой информации, простота и адекватность математической модели позволяют повысить спрос и конкуренцию разработки, что уменьшает влияние финансирования (C1,C2,C3,У1,У2,У4).</p> <p>В силу малой затратности проекта представляется возможность вложения дополнительных денежных средств в другие услуги, такие как сертификация (C4,У3).</p>	<p>Отсутствие прототипа, сертификации научной разработки, невозможность использования в компаниях с традиционными методами обработки нефти приведет к отсутствию спроса и отсутствию конкуренции проекта (У1,У2,Сл1,Сл2,Сл3), а отсутствие финансирования приведет к невозможности получения сертификации (У3,Сл4).</p>

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 4.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность Исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления Исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Термодинамический анализ процесса	Бакалавр
	6	Разработка математической модели процесса	Бакалавр
	7	Оценка адекватности математической модели реальному процессу	Бакалавр

Продолжение таблицы 4.6

	8	Оценка влияния технологических параметров на целевые реакции процесса	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	10	Определение целесообразности проведения процесса	Руководитель, бакалавр

#### 4.2.2 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:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (4.2)$$

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

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

$t_{maxi}$  – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

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

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

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну

и ту же работу на данном этапе, чел.

### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.4)$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48, \quad (4.5)$$

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

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

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

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл.4.7).

Таблица 4.7 – 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											
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Разработка технического задания	10	8	6	15	12	11	12	9,6	8	1	2	3	12	4,8	2,7	18	7,2	4,05
Работа с литературой	40	80	90	60	100	110	73	88	98	1	2	2	48	44	49	72	66	73,5
Термодинамический анализ	25	30	35	30	35	40	27	32	37	1	1	2	27	32	18,5	40,5	48	27,75
Разработка математической модели	40	30	50	20	40	60	32	34	54	2	1	1	16	34	54	24	51	81
Проверка математической модели на адекватность	20	30	28	35	35	33	26	32	30	1	2	1	26	16	30	39	24	45
Оценка влияния различных технологических параметров	15	30	20	30	50	40	21	38	28	1	1	1	21	38	28	31,5	57	42
Оценка эффективности полученных результатов	10	7	5	17	12	10	12,8	9	7	2	2	2	6,4	4,5	3,5	9,6	6,75	5,25

Таблица 4.8 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$	Продолжительность проведения работ																										
				Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
				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	Разработка технического задания	Руководитель	18	■	■	■																								
2	Работа с литературой	Бакалавр	72				■	■	■	■	■	■																		
3	Термодинамический анализ	Бакалавр	41							■	■	■	■	■	■															
4	Разработка математической модели	Бакалавр	48										■	■	■	■	■	■												
5	Проверка математической модели на адекватность	Бакалавр	39													■	■	■	■	■	■									
6	Оценка влияния различных технологических параметров	Бакалавр	32																			■	■	■	■	■	■			
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Бакалавр	10																									■	■	■



– руководитель



– бакалавр

## 4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

### 4.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (4.6)$$

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

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, отражены в табл.4.9.

Таблица 4.9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., с НДС тыс.руб.			Затраты на материалы, (Z <sub>м</sub> ), тыс.руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Нефть	1 баррель = 158,98 литров	10	8	5	2934,3	2934,3	2934,3	29343	23474	14672
Итого								29343	23474	14672

#### 4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Таблица 4.10 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования с НДС, руб.	Общая стоимость, руб.
1	Тарельчатая ректификационная колонна	1	5000000	5000000
2	Дефлегматор	1	330000	330000
3	Ребойлер	1	450000	450000
4	Контактные устройства (тарелки)	20	45000	900000
Итого				6680000

#### 4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле (4.7):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.7)$$

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

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (4.8):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.8)$$

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;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (табл. 4.11).

Таблица 4.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель проекта	Специалист по проекту – студент
Календарное число дней	273	273
Количество нерабочих дней	78	78
– выходные дни	14	14
– праздничные дни		
Потери раб.времени		
– отпуск	-	-
– невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд раб.времени, раб. дн.	181	181

Таблица 4.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_r$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	6092	0,3	0,35	1,3	13067,34	993	181	179733
Бакалавр	1750				3753,8	108		19548
Итого $Z_{осн}$								199281

#### 4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (4.9)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 4.13 – Заработная плата исполнителей НП

Заработная плата Исполнители	Основная, З <sub>осн</sub> ,руб.	к <sub>доп</sub>	Дополнительная, З <sub>доп</sub> ,руб	Итоговая зарплата, С <sub>зп</sub> ,руб
Научный руководитель проекта	179733	0,15	26959	206692
Бакалавр	19548		2932	22480
Итого	199281		29891	229172

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4.10)$$

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

На 2016 г. в соответствии с ФЗ от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 30% [26].

Таблица 4.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	179733	26959
Бакалавр	19548	2932
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого	68752	

#### 4.2.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование

материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.11)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

#### 4.2.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Таблица 4.15 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Материальные затраты НИИ	29343	23474	14672
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	6680000	6680000	6680000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	199281	199281	199281
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	29891	29891	29891
5. Отчисления во внебюджетные фонды	68752	68752	68752
6. Накладные расходы	1121163	1120224	1118815
<b>Бюджет затрат НИИ</b>	<b>8128430</b>	<b>8121622</b>	<b>8111411</b>

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

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

Интегральный 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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.12)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.13)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 4.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,1	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	5	3
3. Энергосбережение	0,15	5	4	4
4. Надежность	0,20	4	5	4
5. Воспроизводимость	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	4	4
Итого	1	4,5	4,2	3,9

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \quad (4.14)$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (4.15)$$

Таблица 4.17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,98	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,2	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,13	4,45	4,06
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,97	0,91

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 исполнения 1.

## **5 Социальная ответственность**

Фракционирование нефти – начальный этап любого нефтеперерабатывающего производства и даже небольшое повышение его энергоэффективности экономически выгодно в силу больших объемов переработки.

Целью ВКР являлся анализ различных технологических схем фракционирования нефти с точки зрения эксергетической и энергетической эффективности.

В качестве объекта исследования выступали две технологические схемы фракционирования нефти, основными продуктами которых являются бензиновая, дизельная фракции, а также мазут.

### **5.1 Производственная безопасность**

#### **5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов**

##### **5.1.1.1 Повышенная загазованность рабочей зоны**

Одним из основных продуктов установки фракционирования нефти является бензиновая фракция. Пары бензиновой фракции являются опасными соединениями, поскольку вследствие своей медленной растворимости во влаге, покрывающей слизистые оболочки дыхательных путей, имеет значительный скрытый период между моментами поступления ядовитых газов в организм и началом развития болезненных явлений, преимущественно в глубоких отделах органов дыхания.

После вдыхания паров у пострадавшего во многих случаях возникает кашель, отдышка, загрудинные боли; эти первичные явления часто проходят при выходе пострадавшего из загазованного помещения на свежий воздух, а затем через час или несколько часов снова нарастает отдышка, появляются кашель, боли в груди, всё более усиливающееся затруднение дыхания.

Систематическое воздействие превышающих предельно допустимые концентрации, но ещё не способных острое отравление концентраций ведёт к развитию тяжёлых хронических заболеваний дыхательных путей –

хронических бронхитов, бронхиолитов, токсических пневмосклерозов, часто осложнённых астмоидными приступами, бронхоэктазиями и явлениями вторичной слабости сердца.

Бензиновые пары оказывают избирательное психотропное (наркотическое), гепатотоксическое, нефротоксическое, пневмотоксическое действие. Особенно опасен этилированный бензин, содержащий тетраэтилсвинец. При вдыхании паров – головокружение, головная боль, опьянение, возбуждение, тошнота, рвота. В тяжелых случаях – нарушение дыхания, потеря сознания, судороги, запах бензина изо рта. При проглатывании – боль в животе, рвота, увеличение и болезненность печени, желтуха (токсическая гепатопатия), нефропатия. При аспирации – боль в груди, кровянистая мокрота, цианоз, одышка, лихорадка, резкая слабость (токсическая пневмония).

#### **5.1.1.1 Предлагаемые средства защиты**

Для защиты органов дыхания от воздействия углеводородных газов и паров нефтепродуктов используют фильтрующие противогазы (марки БКФ), которые применяют при выполнении неотложных кратковременных работ, когда концентрация вредных веществ в воздухе невелика – в основном при отборе проб, авариях, внезапных выделениях газа, во время эвакуации пострадавших.

Шланговые противогазы (марки ПШ-1 и ПШ-2) применяют в случаях, когда в воздушной среде недостаточно кислорода, главным образом при ремонтных работах внутри аппаратов, в резервуарах, колодцах.

Для защиты кожи рук применяют защитные рукавицы, перчатки, мази и пасты по ГОСТ 12.4.068.

Для защиты глаз используются защитные очки.

Для коллективной защиты от воздействия паров бензина в помещениях, где которых проводят работы, должны быть снабжены приточно-вытяжной

вентиляцией с механическим побуждением, отвечающей требованиям ГОСТ 12.4.021.

В местах возможного выделения химических веществ в воздух рабочей зоны должны быть оборудованы местные вытяжные устройства.

### **5.1.1.2 Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу**

Одним из самых крупных поставщиков различных загрязнителей в воздушный бассейн является нефтеперерабатывающая промышленность.

При первичной переработке нефти на установках АВТ выбрасывается в атмосферу свыше 1050 тыс. т загрязняющих веществ, при этом доля улова на фильтрах составляет только 47,5%. Основной состав выбросов в атмосферу: 23% – углеводороды; оксиды: 16,6% – серы, 7,3% – углерода, 2% – азота.

#### **5.1.1.2.1 Характеристика основных загрязнителей атмосферы**

Углеводороды – выбросы углеводородов составляют более 70% выбросов вредных веществ от предприятий нефтепереработки и нефтехимии в атмосферу.

Токсичность углеводородов усиливается при наличии в атмосфере сернистых соединений, оксида углерода, что является причиной более низкого значения ПДК сероводорода в присутствии углеводородов, чем в их отсутствие. В зависимости от строения углеводороды вступают в те или иные фотохимические реакции, тем самым, участвуя в образовании фотохимического смога.

Оксид серы (IV) – оказывает влияние, прежде всего, на слизистую оболочку верхних дыхательных путей. Остатки газа могут проникнуть дальше внутрь легких. Значительное и хроническое загрязнение сернистым ангидридом может вызвать бронхиальную закупорку, повысить сопротивление потоку воздуха в дыхательных путях, нарушить функцию ресничного эпителия и увеличить секрецию слизи. При фоновом загрязнении оксидом серы и взвешенными частицами критической следует считать

концентрацию в  $0,1 \text{ мг/м}^3$ . При повышении этого порога следует ожидать более частого проявления симптомов легочных заболеваний и даже появления патологий, особенно у младенцев и детей.

Оксид углерода (II) – является наиболее опасным и распространенным из газообразных загрязнителей атмосферного воздуха. Оксид углерода опасен тем, что соединяется с гемоглобином крови, в результате чего образуется карбоксигемоглобин. Повышение уровня карбоксигемоглобина в крови может вызвать нарушение функций центральной нервной системы: ослабевают зрение, реакция, ориентация во времени и пространстве. Особенно опасен этот вид загрязнения для больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Оксиды азота – оказывает воздействие не только на органы дыхания, но и на органы зрения. При малых дозах характерны аллергии и раздражения, при больших – бронхиты и трахеиты. Начиная с  $0,15 \text{ мг/м}^3$ , при длительных воздействиях наблюдается увеличение частоты нарушений дыхательных функций и заболеваний бронхитом.

Диоксид азота является токсичным, а на солнечном свете конвертирует в оксид с выделением озона, участвующего в образовании фотохимического смога.

### **5.1.1.3 Повышенный уровень шума на производстве**

Основным источником шума являются насосные подачи сырья в узел смешения, воздушные холодильники, площадка печей нагрева смеси.

Нормирующими характеристиками постоянного шума на рабочих местах являются уровни звуковых давлений в октавных полосах. Нормирующий уровень шума составляет 80 дБА, следовательно, данный уровень соответствует СанПиН 2.2.2.3359-16.

Основные организационные мероприятия по борьбе с шумом следующие:

- размещения оборудования, являющегося источником шума, в отдельных помещениях;

- расположение цехов с повышенным уровнем шума в отделении от малошумных помещений;
- применение индивидуальных средств защиты от шума и вибрации, проведение санитарно-профилактических мероприятий для рабочих, занятых на вибро-акустически активном оборудовании.

## **5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов**

### **5.1.2.1 Термические опасности**

Источником термической опасности в соответствии с РД 153-34.0-03.702-99 могут являться:

- Соединительные магистрали передачи жидкостей, нагретых до высокой температуры;
- Нагретые поверхности узлов электрооборудования и гидрооборудования;
- Опасность выплеска жидкости под высоким давлением;

После контакта с данным видом термической опасности, вызывает у человека покраснение кожи, возникновение волдырей, повреждение слоя эпидермиса, а также возможно получение (1,2,3,4) степени ожога [27].

Для защиты рабочих от термической опасности в соответствии с ГОСТ Р 53010-2008, изолируют трубные обвязки, установленные рядом с рабочим местом оператора.

### **5.1.2.2 Электробезопасность**

Источниками электрической опасности являются оголенные части проводов или отсутствие изоляции, отсутствие заземления, замыкания, статическое напряжение.

От токоведущих частей электроустановок человека защищают изолирующие защитные средства, которые подразделяются на основные и дополнительные. Основными изолирующими средствами защиты разрешается прикасаться к токоведущим частям электроустановок, имеющих рабочее напряжение до 1000 Вольт. В первую очередь, к таким защитным

средствам относится слесарно-монтажный инструмент, снабженный изолирующими рукоятками – плоскогубцы, ножи, отвертки и т.п.

Электробезопасность работающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

- 1) Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей;
- 2) Изоляция токопроводимых частей;
- 3) Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- 4) Использование предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- 5) Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
- 6) Использование средств защиты и приспособлений.

### **5.1.2.3 Движущиеся машины и механизмы**

Движущиеся механизмы и их части, относятся к числу опасных производственных факторов, поскольку существует возможность получения механической травмы в результате контакта движущейся части механизма с телом человека.

Условия существования потенциальной опасности воздействия объекта (движущегося механизма) на человека можно рассматривать как:

- 1) Предусмотренные самим технологическим процессом в зависимости от его назначения (например, работа с подъемно-транспортным оборудованием, станками, прессами и т.д.);
- 2) Приводящие к опасности из-за недостатков в монтаже и конструкции объекта (например, обрывы конструктивных элементов и их падение, разрушение от коррозии и т.п.);
- 3) Возникающие вновь при изменении технологического процесса и применении другого типа оборудования (по сравнению с ранее принятым в проекте);

4) Зависящие от человека (психофизиологические особенности, целевое устремление, отношение к необходимости поддерживать культуру производства на достаточно высоком уровне и т.п.).

Проявление данного фактора в большинстве случаев обуславливается результатом конструктивных недостатков оборудования, недостаточности освещения, неисправности защитных средств, оградительных устройств, а также несоблюдение правил безопасности из-за неподготовленности работников, низкая трудовая и производственная дисциплина, неправильная организация работы, отсутствие надлежащего контроля за производственным процессом и др.

В качестве профилактических мер следует систематически производить проверку наличия защитных ограждений на движущихся и вращающихся частях машин и механизмов; плановую и внеплановую проверку пусковых и тормозных устройств; проверку состояния оборудования и своевременное устранение дефектов ГОСТ 12.2.003-91.

Основными мерами предосторожности являются: соблюдение всех требований правил техники безопасности при работе с инструментами; соблюдение формы одежды (все пуговицы на одежде должны быть застегнуты, полы одежды не должны болтаться); периодическая проверка технического состояния используемых при отборе проб инструментов, повышенное внимание на рабочем месте.

#### **5.1.2.4 Пожарная безопасность**

Пожаробезопасность при эксплуатации установки фракционирования нефти обеспечивается согласно федеральному закону [28].

Причины возникновения пожаровзрывоопасной ситуации:

- Разгерметизация трубопроводов в местах соединения;
- Проведение огневых работ без первичных средств пожаротушения;
- Разгерметизация оборудования с возгоранием;

- Большое количество резервуаров, емкостей и аппаратов, в которых имеются пожароопасные продукты под высоким давлением и высокой температуре;
- Высокая теплота сгорания веществ и материалов;
- Использование неисправного оборудования;
- Нарушение технологического режима;
- Пуск неисправной технологической линии (аппарата) установки;
- Нарушение правил ремонтных работ;
- Несоблюдение правил останова технологической установки.

Площадка, на которой установлены оборудования переработки нефти, снабжена системой специализированного пожаротушения с учётом специфики горючих веществ (нефть, продукты переработки). Приборы КИПиА и электрооборудование используется во взрывобезопасном исполнении. При ведении технологического процесса используются противоаварийные блокировки и сигнализации.

В операторской и в производственных помещениях установлены переносные и передвижные огнетушители типа ОВП и ОП. Поставка и испытание производится согласно нормам [29]. Производственные помещения оборудованы запасом асбестового полотна и контейнерами с песком. Также в помещении ЦПУ хранятся противогазы ИП-4МР. При возникновении аварийной ситуации оператор немедленно оповещает местную пожарную часть и начальника смены цеха.

## **5.2 Экологическая безопасность**

Установление размеров санитарно-защитных зон осуществляется согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

Предусмотрены меры по благоустройству и озеленению территории предприятия. Территория санитарно-защитной зоны благоустроена и озеленена по проекту благоустройства, который предусматривает выбор пород зеленых насаждений и их зоны посадки. По периметру предприятия

осуществляется посадка деревьев и кустарников. Ширина полос зеленых насаждений до 5 м, согласно СП 2.07.01-01.

Основными вредными веществами, выбрасываемыми в атмосферу на НПЗ, являются углеводороды, сернистый газ, сероводород, окись углерода, аммиак, фенол, окислы азота и т.д. При использовании в качестве топлива нефтезаводских печей и заводских ТЭЦ неочищенного газа и сернистого мазута в атмосферу выделяются сернистый ангидрид и окислы азота. Поскольку зимой увеличивается количество сжигаемого топлива, в этот период заметно возрастает загрязнение атмосферы сернистым ангидридом и окислами азота.

В процессе переработки нефти и нефтепродуктов, промежуточных и побочных продуктов происходит неизбежное загрязнение используемой воды углеводородами, твердыми частицами металлов и другими компонентами. Основными источниками загрязнения воды нефтепродуктами на заводе являются не плотности в различных соединениях технологических цепочек, утечки из сальников насосов, технологические конденсаты, атмосферные осадки, контактирующие с проливами на технологических площадках.

Загрязнение почв и грунтов нефтью и продуктами ее переработки вызывают сильные, иногда необратимые, повреждения природных экосистем; углеводороды, попадая в зоны низкой плотности и аэрации, фильтруются вплоть до водоносных горизонтов. Из всех видов загрязнений почвенной среды нефтепродуктами, загрязнение горизонта грунтовых вод является наиболее опасным, так как токсичные вещества могут мигрировать на большие расстояния и, в конечном счете, проникать в поверхностные водоемы. Среди основных причин загрязнения почвенной среды упомянутых территорий можно отметить:

- 1) не герметичность технологических установок;
- 2) повреждения магистральной и запорной арматуры недостаточное уплотнение канализационных систем проливы сливноналивного оборудования.

Вредное воздействие веществ на окружающую среду, обращающихся в процессе перегонки нефти, ограничивается следующими документами:

– гигиенические нормативы «Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» - ГН 2.1.6.1339-03, с дополнениями №1 (ГН 2.1.6.1764-03), дополнениями и изменениями №2 (ГН 2.1.6. 1984-05);

– гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» - ГН 2.1.6.1338-03, с дополнениями №1 (ГН 2.1.6.1765-03), дополнениями и изменениями №2 (ГН 2.1.6. 1983-05).

Для того чтобы не допустить загрязнения водоемов, необходим постоянный контроль за качеством в них воды. В осуществлении контроля главную роль играют электронные системы предприятия. Они передают на центральную станцию сведения о качестве воды по основным показателям: количество растворенного кислорода, значения рН и температуры, содержание хлоридов, величина ВПК и др. Для защиты водоемов от загрязнения сточными водами на предприятии необходимо выполнять сочетание водооборота с локальными методами очистки сбрасываемых вод. С сокращением потерь нефтепродуктов в сточные воды, одновременно будет достигаться и защита водоемов от загрязнения.

С целью соблюдения нормативов ПДС осуществлять производственный и государственный контроль за сбросом сточных вод.

При производственном контроле, проводить наблюдения за расходом и химическим составом сточных вод в местах собственных выпусков, фоновых и контрольных створах водных объектов, принимающих сточные воды (СП 2.1.5.1059-01).

Для защиты почвы и поверхностных вод от попадания нефтепродуктов сливо-наливные площадки должны иметь бетонные покрытия, ограждены по периметру бортиками высотой 200 мм в соответствии с ГОСТ 1.15.0042009 «Общие требования при проектировании сливноналивных эстакад».

На предприятии устанавливается контейнер для металлических отходов. Отходы металлов, обтирочная ветошь, отходы от уборки территории, бой кирпичной кладки при ремонте, пищевые отходы утилизируются на специальном полигоне.

Сливные отходы, прошедшие необходимую фильтрацию, спускают в канализацию.

### **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

На сегодняшний день одной из важнейших государственных задач является защита населения в чрезвычайных ситуациях, возникающих вследствие различных стихийных бедствий, а также имеющих происхождение техногенного характера. В нашей стране для решения данной задачи действует закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», от 11.11.94г. в ред. ФЗ от 28.12.13 г. №404-ФЗ. В статье №14 данного закона сказано, что организации обязаны:

- планировать и проводить мероприятия по повышению устойчивости функционирования организаций и обеспечению жизнедеятельности работников организаций в чрезвычайных ситуациях;

- обеспечивать создание, подготовку и поддержание в готовности к применению сил и средств предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, осуществлять обучение работников организаций способам защиты и действиям в чрезвычайных ситуациях;

- обеспечивать организацию и проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ на подведомственных объектах производственного и социального назначения и на прилегающих к ним территориям в соответствии с планами предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;

- финансировать мероприятия по защите работников организаций и подведомственных объектов производственного и социального назначения от чрезвычайных ситуаций;

– предоставлять в установленном порядке информацию в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, а также оповещать работников организаций об угрозе возникновения или о возникновении чрезвычайных ситуаций.

Предприятие ЗАО филиал «НефтеХимСервис» ЯНПЗ относится к химически и пожаровзрывоопасным объектам, поэтому на нем должны быть предприняты максимальные меры для обеспечения устойчивой работы предприятия и безопасности жизнедеятельности работников предприятия в условиях чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в мирное и военное время [30].

Методическое руководство, координацию и контроль за подготовкой работающего персонала в области защиты от чрезвычайных ситуаций осуществляет руководитель отдела предприятия по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и пожарной безопасности.

Готовность аварийно-спасательных служб и аварийно-спасательных формирований к реагированию на чрезвычайные ситуации и проведению работ по их ликвидации определяется в ходе аттестации, а также во время проверок, осуществляемых на предприятии органами государственного надзора, органами по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям.

К внутренним источникам риска относятся:

- разлив горючих жидкостей: нефти, бензина, дизельного топлива, мазута;
- воздействие на человека нагретых до высокой температуры стенок сосудов и аппаратов;
- аварии водопроводной сети;
- химическое заражение вследствие утечки транспортируемых углеводородов;
- возникновение очагов пожара, при разгерметизации оборудования, вызывающее ожоги и отравление людей угарным газом, а также приводящее к перебоям в подаче электроэнергии, нарушению связи.

Наиболее вероятными очагами возникновения пожара следует считать склад готовой продукции, различные емкости с нефтепродуктами, нефтепроводы;

- аварии на внутренних железнодорожных путях при транспортировке опасных веществ.

К внешним источникам риска относятся:

1) Возникновение аварий и ЧС при транспортировке опасных грузов (бензины, дизтопливо, керосин, АХОВ) могут привести к взрывам, пожарам и химическим загрязнениям, что может, повлиять на работу предприятия.

2) Учитывая, что предприятие относится к 1 категории по ГО [31] возможно применение оружия массового поражения (ядерный удар) при котором территория и сооружения предприятия могут оказаться в зонах разрушения.

При попадании в зону полного и сильного разрушения предприятие прекратит производственную деятельность, потери персонала могут достигнуть 70-90%.

При попадании в зону среднего разрушения предприятие сократит производственную деятельность до 45%, потери персонала составят до 10-15%, нарушится управление производством. Многие объекты станут источником вторичных поражающих факторов (взрывы, пожары). Наряду с разрушениями объектов возникнут обширные зоны с высоким уровнем радиоактивного заражения.

При попадании в зону слабого разрушения, предприятие сократит производственную деятельность до 15%, потери персонала могут составить до 2%.

Уровни радиации на территории могут колебаться в зависимости от следа прохождения радиоактивного облака, вида и мощности ядерного взрыва, его удалении.

Электромагнитный импульс может вывести из строя средства автоматизации, построенные на базе микропроцессоров и микроэлектроники (контроллеры, ПЭВМ), что также может парализовать работу предприятия.

3) Предприятие расположено в сейсмически активной зоне. Последствия землетрясения будут зависеть от интенсивности выделяемой энергии и расстояния до эпицентра землетрясения. Максимально возможная интенсивность выделяемой энергии землетрясения в районе предприятия – 6 баллов по шкале MSK. Здания и сооружения предприятия способны выдержать толчки мощностью до 6 баллов.

4) Для данного предприятия высока вероятность проведения террористического акта. Последствия террористического акта (пожары, взрывы) могут вызвать экологическую катастрофу в данном районе Кемеровской области.

С целью обеспечения невозможности проникновения посторонних лиц на территории завода предусмотрено сплошное ограждение из железобетона и организована контрольно – пропускная система на проходной.

Дороги с асфальтовым покрытием предназначенные для любого вида автотранспорта.

В случае возникновения ЧС структуры ГОЧС объекта должны действовать согласно Постановлению №794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» и выполнять следующие мероприятия: [32]

При угрозе химического заражения:

- постоянный анализ обстановки и прогнозирование масштабов опасности, площади возможного заражения;
- подготовка к выдаче и выдача всем рабочим и служащим противогазов;
- подготовка эвакогруппы, транспорта, маршрутов для проведения эвакуации.

При угрозе возникновения (распространения) пожара:

- привести в готовность звено пожаротушения, все средства для тушения пожара;
- об опасности оповестить весь личный состав предприятия;
- доложить начальнику штаба ГО района, сообщить пожарной охране на предприятии;
- при необходимости организовать остановку производственного процесса, вынос оборудования, документов, материальных ценностей, оказавшихся под угрозой;
- привести в готовность спасательные формирования, поставить им конкретные задачи;
- нести постоянный анализ, прогнозирование обстановки с целью определения необходимых мероприятий;
- оказание медицинской помощи пострадавшим и эвакуация их в лечебные учреждения.

При угрозе урагана:

- оповестить весь персонал предприятия;
- уточнить порядок приведения в готовность формирований пожаротушения, спасательного, связи и охраны общественного порядка;
- приготовить дублирующие средства электроснабжения;
- осуществить работу по укреплению малоустойчивых, уязвимых конструкций;
- вести постоянное дежурство обслуживающего персонала на уязвимых местах, средствах связи и оповещения.

При сильном снегопаде и снежных заносах:

- организовать интенсивные работы по очистке дорог, подъездов, проездов;
- обеспечить систематическую очистку воздушных электролиний и линий связи, контроль за электроснабжением;

- создать запасы топлива, сырья, продовольствия.

При резком понижении температуры воздуха:

- провести работы по дополнительному утеплению водо- и теплопроводов, канализационных магистралей на наружных участках, лестничных маршах, коридоров и других уязвимых местах;
- закрыть оконные и дверные проемы, а также выходы из зданий;
- установить строгий контроль за соблюдением режима работы обогревательных устройств и расходы электроэнергии;
- провести профилактические меры по предупреждению обморожения, установить дежурство сан. Дружин для своевременного оказания помощи пострадавшим.

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

Для работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, законодатель установил:

- 1) На тяжелых и физических работах с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается применение труда женщин.
- 2) Лицам, не достигших восемнадцатилетнего возраста, работа с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда запрещается.
- 3) При приеме на работу с вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) условиями труда проводится обязательные медицинские осмотры работников.

Таким образом, при отнесении условий труда к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) работникам, занятым на рабочем месте, которое относится к вредными (особо вредными), опасными (особо опасными) должны предоставляться компенсации не ниже предусмотренных постановлением Правительства РФ от 20.11.2008 № 870.

В соответствии с п.1 данного постановления работникам, занятым на перечисленных видах работ, установлены следующие компенсации:

- сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю в соответствии со ст. 92 ТК РФ;
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск – не менее 7 календарных дней;
- повышение оплаты труда – не менее 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда [33].

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы:

- Исследованы современные схемы фракционирования нефти, а также современные запатентованные схемы и внутренние контактные устройства колонн;
- Описана структура и возможности систем автоматизированного проектирования, а также рассмотрены наиболее распространенные из них;
- Рассмотрен метод оценки эффективности технологических процессов (эксергетический анализ), на основе которого была определена наиболее эффективная схема фракционирования, из нескольких исследуемых;
- Спроектирована основная колонна наиболее энергоэффективной схемы (схемы Петлюка);

По результатам выполненной ВКР можно сделать вывод о том, что моделирование химико-технологических систем (ХТС) с использованием компьютерных моделирующих программ значительно упрощает процесс проектирования, позволяет на начальном этапе оптимизировать полученную математическую модель. Компьютерное моделирование действительно доказало актуальность и перспективность своего использования.

### **Список публикаций студента**

1) Брыль В.Д. Эксергетический анализ схем многокомпонентной ректификации // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, имени профессора Л.П. Кулева (г. Томск, 29 мая – 01 июня 2017 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – с. 280-281.

## Список использованной литературы

- 1) Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти: Уч. пособие для вузов. – Уфа: Гилем, 2002. - 672 с.
- 2) Sittig, M., «Petroleum Refining Industry Energy Saving and Environmental Control», Noyes Data Corp., 1978.
- 3) Gary, J.H. and G.E. Handwerk, Petroleum Refining Technology and Economics, 2nd Ed., Marcel Dekker Inc., Appendix B.3, 1984, pp. 317-318.
- 4) Kutler, A.A., «Crude distillation», Petro/Chem Engineer, May 1969, pp. 9-11.
- 5) Kaibel, G., «Energy Integration in thermal process engineering», International Chemical Engineering, Vol. 32, No. 4, October 1992, pp. 631-641.
- 6) Smith, J.M. and H.C. Van Ness, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 1987, pp. 548-568.
- 7) Petyluk, F.B., V.M. Platonov and D.M. Slavinskii, «Thermodynamically Optimal Method for Separating Multicomponent Mixtures», International Chemical Engineering, Vol. 5, No. 3, July 1965, pp. 55-561.
- 8) Nelson, W.L., Petroleum Refinery Engineering, 4<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill Book Co., 1958, p. 423.
- 9) Huang, F. and R. Elshout, «Optimizing the heat recovery of crude units», Chemical Engineering Progress, July 1976, pp. 68-74.
- 10) Traintafyllou, C. and R. Smith, «The design and optimization of fully thermally coupled distillation columns», Trans. IChemE, Vol. 70, Part A, March 1992, pp. 118-132.
- 11) Fidkowski, Z. and L. Krolikowski, «Thermally Coupled System of Distillation Columns: Optimization Procedure», AIChE Journal, Vol. 32, No. 4, April 1986.
- 12) Fidkowski, Z. and L. Krolikowski, «Minimum Energy requirements of Thermally Coupled Distillation Systems», AIChE Journal, Vol. 33, Number 4, April 1987.

13) Glinos, K. and M.F. Malone, «Optimality regions for complex column alternatives in distillation systems», Chem. Eng. Res. Dev., Vol. 66, May 1988, pp. 229-240.

14) Патент № 2437699. РФ. Способ ректификации нефти. [Текст] / Столяров В.В, Овсянников В.П, Харченко И.Я, Горин И.Г, Купин В.С, Куликов Д.А, Бельмаз Д.Н. – №2010125844/05; заяв. 24.06.10; опуб. 27.12.11.

15) Патент № 2516464. РФ. Способ переработки нефти. [Текст] / Быстров А.И, Деменков В.Н, Хайрудинов И.Р. – 2013100427/04; заяв. 09.01.13; опуб. 20.05.14.

16) Патент № 2515728. РФ. Способ перегонки нефти. [Текст] / Быстров А.И, Деменков В.Н, Хайрудинов И.Р. – 2013114954/04; заяв. 03.04.13; опуб. 20.05.14.

17) Патент № 2484122. РФ. Способ перегонки нефти. [Текст] / Мнушкин И.А, Гасанова О.И. – 2012110713/04; заяв. 20.03.12; опуб. 10.06.13.

18) Патент № 2599400. РФ. Многопоточная контактная тарелка. [Текст] / Бахшиян Д.Ц, Списов С.В, Елистратов А.В, Лаухин Ю.А. – 2015116917/05; заяв. 05.05.15; опуб. 10.10.16.

19) Патент № 2602118. РФ. Регулярная насадка для тепло- и массообменных процессов. [Текст] / Бальчугов А.В, Андреев М.В, Бадеников А.В, Кузора И.Е. – 2015128428/05; заяв. 13.07.15; опуб. 10.11.16.

20) Григорян Л.Г., Шафрановский Е.Л., Прохоренко Ф.Ф. и др. Проблемы и перспективы ректификации в нефтепереработке // Тез. докл. VI Всероссийской конф. По теории и практике ректификации. – Северодонецк, 1991. – С.23-29.

21) Петлюк Ф.Б. Энергосбережение в ректификационных установках // Тез. докл. VI Всероссийской конф. По теории и практике ректификации. – Северодонецк, 1991. – С.30-32.

22) Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. – М.: Изд-во «Энергия». – 1973. – С. 181-193.

23) Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические Системы» № 6, июнь 2010.

24) Кравцов А.В., Самборская М.А., Вольф А.В., Митянина О.Е. Основы проектирования процессов переработки природных энергоносителей: Учебное пособие для вузов. – Томск: издательство ТПУ, 2010. – 107 с.

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

26) Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования».

27) РД 153-34.0-03.702-99. Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве.

28) Технический регламент ТР «О требованиях пожарной безопасности» №123-ФЗ от 22 июля 2008г.

29) Нормы пожарной безопасности НПБ 155-2002 «Техника пожарная. Огнетушители. Порядок постановки огнетушителей на производство и проведения сертификационных испытаний».

30) Технологический регламент установки переработки нефти ЭЛОУ-АВТ. ЗАО филиал «НефтеХимСервис» ЯНПЗ – 2010. – 23 с.

31) Российская Федерация. Законы. «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [Федеральный закон №68-ФЗ].

32) Российская федерация. Законы. «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации ЧС». [Постановление правительства РФ №794 от 30.12.2003]. – М.: Инфа-М, 2003 – 12с.

33) ТК РФ. Трудовой кодекс РФ.

34) Дытнерский Ю.А., Процессы и аппараты химической технологии. 2-е изд., перераб. и дополн.- М.: Химия, 1980, 266с.

35) Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – 14-е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 576 с.

36) Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л.: Машиностроение, 1970, 752с.

37) АТК 24.200.04-90. Альбом типовых конструкций. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры.

## Приложение А

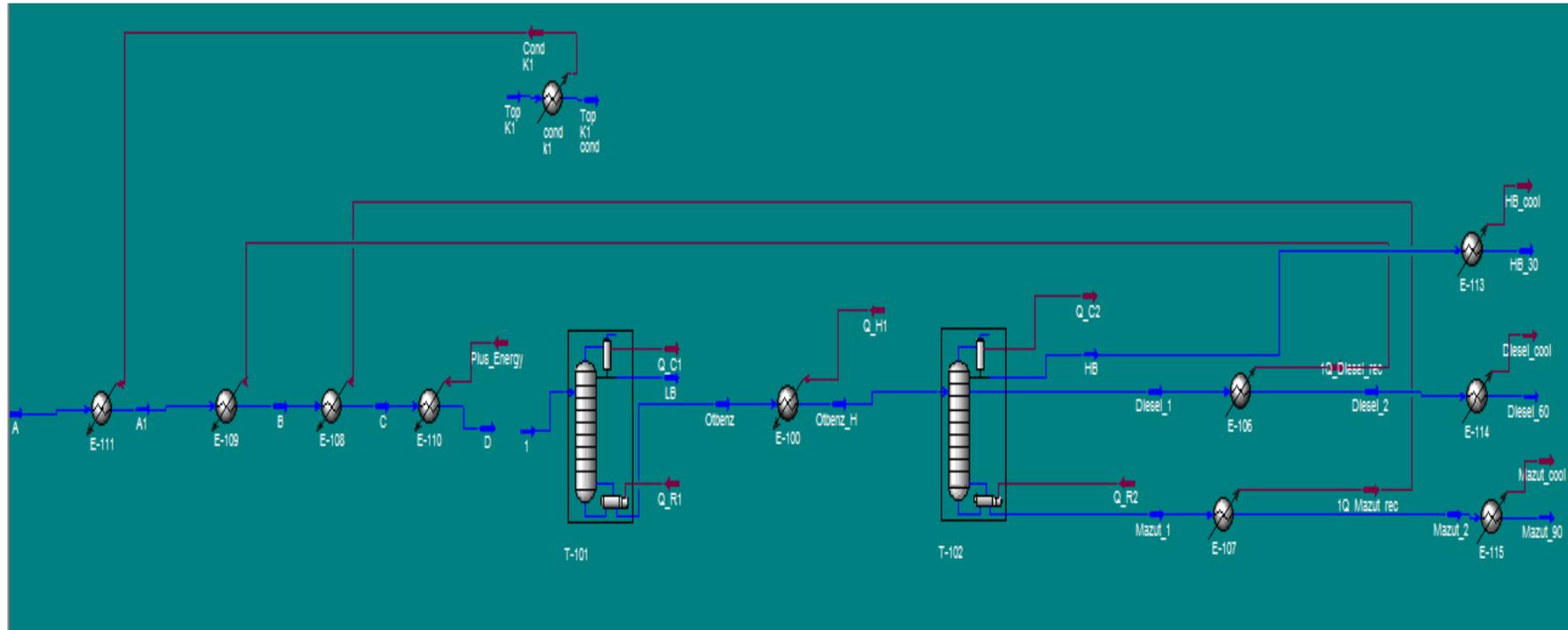


Рисунок 3.3 – Двухколонная схема без интеграции потоков дополненная рекуперацией тепла материальных потоков



## Приложение Б

По каталогу для колонны диаметром 2000 мм выбираем клапанную тарелку ТКП-однопоточная со следующими конструктивными размерами [34, с. 222]:

Таблица 3.8 – Техническая характеристика клапанных тарелок типа ТКП-однопоточная

Параметр	Значение
Свободное сечение колонны, м <sup>2</sup>	3,14
Рабочее сечение тарелки, м <sup>2</sup>	2,24
Периметр перелива, $L_c$ , м	1,6
Сечение перелива, м <sup>2</sup>	0,45
Шаг, мм	50
Относительное свободное сечение тарелки, %	13,74
Число клапанов	342
Число рядов клапанов на поток	19
Масса, кг	200

По каталогу для колонны диаметром 2600 мм выбираем колпачковую тарелку ТСК-Р со следующими конструктивными размерами [34, с. 214]:

Таблица 3.9 – Техническая характеристика колпачковых тарелок типа ТСК-Р

Параметр	Значение
Свободное сечение колонны, м <sup>2</sup>	5,31
Длина линии барботажа, м	60,3
Диаметр колпачка, $d_k$ , мм	100
Количество колпачков, $z$	202
Периметр перелива, $L_c$ , м	2,032
Сечение перелива, м <sup>2</sup>	0,674
Свободное сечение тарелки, м <sup>2</sup>	0,638
Относительная площадь для прохода паров, $F_c$ , %	12,1
Масса, кг	305

- **Расчет тепловой изоляции**

Толщину теплоизоляционного слоя определим по соотношению:

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\lambda_{\text{из}} (t_{\text{ст}} - t_{\text{из}})}{\alpha_{\text{н}} (t_{\text{из}} - t_{\text{окр.с}})}$$

где  $\alpha_{\text{н}} = 9,74 + 0,07V_t$ ;  $V_t = t_{\text{из}} - t_{\text{окр.с}}$ ;

Примем  $t_{\text{ст}} = 360^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{из}} = 45^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{окр.с}} = 20^{\circ}\text{C}$  – температуры стенки, изоляции и окружающей среды соответственно. Тогда

$$\alpha_{\text{н}} = 9,74 + 0,07(45 - 20) = 11,49$$

В качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит (85 % магнезии + 15 % асбеста), имеющей коэффициент теплопроводности  $\lambda_{\text{и}}=0,098$  Вт/(м · К) [35, с. 529].

Толщина тепловой изоляции равна:

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,098 * (360 - 45)}{11,49 * (45 - 20)} = 0,1 \text{ м} = 100 \text{ мм}$$

Примем 100 мм = 10 см.

- **Расчет толщины обечайки**

Толщина обечайки находится из соотношения:

$$S > \frac{p \cdot D}{(2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p)} + c$$

где  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение для стали;  $\varphi$  – коэффициент ослабления сварного шва;  $c$  – поправка на коррозию;  $p$  – рабочее давление;  $D$  – диаметр аппарата.

Толщину тонкостенных обечаек, работающих под внутренним избыточным давлением  $p$  (МПа) следует рассчитывать по формуле [36]:

$$\delta = \frac{Dp}{2\sigma_{\text{д}}\varphi - p} + C_{\text{к}}$$

Границей применимости формулы является условие:  $\frac{\delta - C_{\text{к}}}{D} \leq 0,1$

Разрушающее действие среды на материал учитывается поправкой  $C_k$  к номинальной толщине детали:

$$C_k = \Pi \cdot \tau_a$$

где  $\tau_a$  – амортизационный срок службы аппарата;  $\Pi$  – коррозионная проницаемость мм/год.

Примем  $\tau_a = 20$  лет,  $\Pi = 0,1$  мм/год, тогда  $C_k = 0,1 \cdot 20 = 0,002$  м = 2 мм.

Материал обечайки: Т.к. среда является высококоррозионной, то принимаем материал стали 12Х18Н10Т с использованием сварного шва  $\varphi_{ш} = 1$ . Допускаемое напряжение для стали марки 12Х18Н10Т при 360°C  $\sigma_d = 137$  МПа согласно ГОСТ Р 52857.1-2007.

$$\delta = \frac{D \cdot p}{2[\sigma] \varphi - p} = \frac{2,0 \cdot 0,1}{2 \cdot 137 \cdot 1 - 0,1} + 0,002 = 0,0027 \text{ м} \approx 3 \text{ мм}$$

$$\delta = \frac{D \cdot p}{2[\sigma] \varphi - p} = \frac{2,6 \cdot 0,1}{2 \cdot 137 \cdot 1 - 0,1} + 0,002 = 0,0028 \text{ м} \approx 3 \text{ мм}$$

Согласно рекомендациям [34, с.211] для диаметра колонны 2000 мм принимаем толщину обечайки  $s = 12$  мм, а для диаметра колонны 2600 мм принимаем толщину обечайки также равную 12 мм.

Толщина стенки обечайки с учетом прибавки на коррозию:

$$S = \delta + C_k = 12 + 2 = 14 \text{ мм}$$

$$\text{Условие выполняется: } \frac{0,014 - 0,002}{2} = 0,006 \leq 0,1$$

$$\text{Условие выполняется: } \frac{0,014 - 0,002}{2,6} = 0,005 \leq 0,1$$

Допускаемое избыточное давление в обечайке можно рассчитать по формуле:

$$\rho_d = \frac{2\sigma_d \varphi_{ш} (\delta - C_k)}{D + (\delta - C_k)} = \frac{2 \cdot 137 \cdot 1 \cdot (0,014 - 0,002)}{2 + (0,014 - 0,002)} = 1,63 \text{ МПа}$$

$$\rho_d = \frac{2\sigma_d \varphi_{ш} (\delta - C_k)}{D + (\delta - C_k)} = \frac{2 \cdot 137 \cdot 1 \cdot (0,014 - 0,002)}{2,6 + (0,014 - 0,002)} = 1,26 \text{ МПа}$$

- **Расчет толщины днища и крышки**

Наиболее рациональной формой для цилиндрических аппаратов является эллиптическая. Эллиптические днища и крышки изготавливаются из листового проката штамповкой и могут использоваться в аппаратах с избыточным давлением до 10 МПа.

Толщина стенки днища определяется по формуле:

$$S = \frac{R \cdot p}{2[\sigma]\varphi_{ш} - 0.5p} + c$$

R – радиус кривизны в вершине днища. В данном случае  $R = D$  с  $H=0.25D$ .

Для днищ, изготовленных из целой заготовки (без сварочной операции), коэффициент  $\varphi = 1$ .

Тогда:

$$S = \frac{R \cdot p}{2[\sigma]\varphi_{ш} - 0.5p} = \frac{2,0 \cdot 0,1}{2 \cdot 137 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,1} = 0,0007 \text{ м} = 0,7 \text{ мм}$$

$$S = \frac{R \cdot p}{2[\sigma]\varphi_{ш} - 0.5p} = \frac{2,6 \cdot 0,1}{2 \cdot 137 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,1} = 0,0009 \text{ м} = 0,9 \text{ мм}$$

Полученные величины слишком малы, поэтому примем толщину крышки и днища равной толщине обечайки  $S = 14$  мм.

Подбираем стандартные стальные отбортованные днище и крышку по ГОСТ 6533-78. Принимаем фланец согласно ГОСТ 33259-2015.

Таблица 3.10 – Внутренние базовые размеры для крышки эллиптической отбортованной стальной по ГОСТ 6533-78

$D_B$ , мм	$h_B$ , мм	$F_B$ , м <sup>2</sup>	$V \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup>	m, кг
2000	500	4,59	1168,1	526,5

Таблица 3.11 – Внутренние базовые размеры для днища эллиптического отбортованного стального по ГОСТ 6533-78

$D_B$ , мм	$h_B$ , мм	$F_B$ , м <sup>2</sup>	$V \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup>	m, кг
2600	650	7,82	2608,7	870,3

- **Расчет штуцеров и фланца**

Подсоединение трубопроводов к сосудам и аппаратам осуществляется с помощью вводных труб или штуцеров. Исходя из условий стабилизации, примем для аппарата штуцера с приварным плоским фланцем и тонкостенным патрубком.

Для схемы с интеграцией потоков, в основной колонне необходимо установить 9 штуцеров:

№1 – отвод паров, пар

№2 – поток орошения, жидкость

№3 – «горячая струя», пар

№4 – мазут, жидкость

№5 – боковой погон – дизель, жидкость

№6 – паровой поток из префракционатора, пар

№7 – орошение в префракционатор, жидкость

№8 – куб из префракционатора, жидкость

№9 – «горячая струя в префракционатор», пар

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению:

$$d = \sqrt{4 \cdot G / \pi \cdot \rho \cdot \omega}$$

где  $G$  – массовый расход потока, кг/с;

$\rho$  – плотность потока при соответствующей температуре, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega$  – скорость, для жидкости принимаем 1,5 м/с, для пара – 20 м/с.

Таблица 3.12 – Данные о потоках в колонне

Поток	Расход, кг/с	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
№1 Пары бензиновой фракции	5,192	1,585
№2 Флегма	3,894	731,7
№3 «Горячая струя»	7,983	6,370
№4 Мазут	10,43	635,0

Продолжение таблицы 3.12

№5 боковой погон – дизель, жидкость	1,389	680,4
№6 паровой поток из префракционатора, пар	4,483	2,413
№7 орошение в префракционатор, жидкость	2,109	683,1
№8 куб из префракционатора, жидкость	3,094	658,9
№9 пар в префракционатор с 11 тарелки основной колонны	2,817	645,1

№1. Штуцер для отвода паров бензиновой фракции

$$d1 = \sqrt{4 * 5,192 / 3,14 * 1,585 * 20} = 0,457 м = 457 \text{ мм};$$

Примем патрубок с условным проходом  $D_y = 500 \text{ мм}$ .

Фланцы [36, с. 551]:

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_6$	Z	ГОСТ 33259-2015	
Мм							$h, \text{ мм}$	Масса, кг
500	530	640	600	570	M20	16	20	16

№2. Штуцер для ввода флегмы

$$d2 = \sqrt{4 * 3,894 / 3,14 * 731,7 * 1,5} = 0,067 м = 67 \text{ мм};$$

Примем патрубок с условным проходом  $D_y = 80 \text{ мм}$ .

Фланцы [36, с. 549]:

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_6$	Z	ГОСТ 33259-2015	
Мм							$h, \text{ мм}$	Масса, кг
80	89	185	150	128	M16	4	11	1,84

№3. Штуцер для ввода паров кубовой смеси

$$d3 = \sqrt{4 * 7,983 / 3,14 * 6,370 * 20} = 0,283 м = 283 \text{ мм};$$

Примем патрубок с условным проходом  $D_y = 300 \text{ мм}$ .

Фланцы [36, с. 550]:

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_6$	Z	ГОСТ 33259-2015	
Мм							$h$ , мм	Масса, кг
300	325	435	395	365	M20	12	18	9,33

№4. Штуцер для отвода кубового остатка

$$d4 = \sqrt{4 * 10,436 / 3,14 * 635,0 * 1,5} = 0.118 м = 118 \text{ мм};$$

Примем патрубок с условным проходом  $D_y = 125$  мм.

Фланцы [36, с. 549]:

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_6$	Z	ГОСТ 33259-2015	
Мм							$h$ , мм	Масса, кг
125	133	235	200	178	M16	8	11	2,60

№5. Штуцер для отвода дизельной фракции

$$d5 = \sqrt{4 * 1,389 / 3,14 * 680,4 * 1,5} = 0.042 м = 42 \text{ мм};$$

Примем патрубок с условным проходом  $D_y = 50$  мм.

Фланцы [36, с. 548]:

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_6$	Z	ГОСТ 33259-2015	
Мм							$h$ , мм	Масса, кг
50	57	140	110	90	M12	4	10	1,04

№6. Штуцер для подачи пара из префракционатора

$$d6 = \sqrt{4 * 4,483 / 3,14 * 2,413 * 20} = 0.344 м = 344 \text{ мм};$$

Примем патрубок с условным проходом  $D_y = 350$  мм.

Фланцы [36, с. 551]:

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_6$	Z	ГОСТ 33259-2015	
Мм							$h$ , мм	Масса, кг
350	377	485	445	415	M20	12	18	10,5

№7. Штуцер для подачи орошения в префракционер

$$d7 = \sqrt{4 * 2,109 / 3,14 * 683,1 * 1,5} = 0.051m = 51mm;$$

Примем патрубок с условным проходом  $D_y = 65$  мм.

Фланцы [36, с. 549]:

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_6$	Z	ГОСТ 33259-2015	
Мм					M12	4	$h$ , мм	Масса, кг
65	76	160	130	110				

№8. Штуцер для подачи кубового остатка префракционера в основную колонну на 10 тарелку

$$d8 = \sqrt{4 * 3,094 / 3,14 * 658,9 * 1,5} = 0.063m = 63mm;$$

Примем патрубок с условным проходом  $D_y = 65$  мм.

Фланцы [36, с. 549]:

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_6$	Z	ГОСТ 33259-2015	
Мм					M12	4	$h$ , мм	Масса, кг
65	76	160	130	110				

№9. Штуцер для подачи пара в префракционер из основной колонны с 11 тарелки

$$d9 = \sqrt{4 * 2,817 / 3,14 * 645,1 * 20} = 0.17m = 170mm$$

Примем патрубок с условным проходом  $D_y = 200$  мм.

Фланцы [36, с. 550]:

$D_y$	$d_n$	$D_\phi$	$D_6$	$D_1$	Болты		Тип фланцев – 1	
					$d_6$	Z	ГОСТ 33259-2015	
Мм					M16	8	$h$ , мм	Масса, кг
200	219	315	280	258				

#### • Расчет опоры аппарата

Установка химических аппаратов на фундаменты или специальные несущие конструкции осуществляется большей частью с помощью опор.

Для того чтобы выбрать опору, необходимо рассчитать вес всего аппарата в рабочем состоянии.

Масса обечайки:

$$m_{об} = 0,785 \cdot (D_{нар}^2 - D_{вн}^2) \cdot H_{об} \cdot \rho;$$

где  $D_n = 2,628$  м – наружный диаметр колонны;

$D_{вн} = 2,600$  м – внутренний диаметр колонны;

$H_{об} = 10,800$  м – высота цилиндрической части колонны (обечайки);

$\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup> – плотность стали.

$$m_{об} = 0,785 \cdot (2,628^2 - 2,6^2) \cdot 10,8 \cdot 7800 = 9654,75 \text{ кг}$$

Масса тарелок:

$$m_T = m_{1T} \cdot n,$$

$$m_T = 200 \cdot 9 + 350 \cdot 5 = 3550 \text{ кг}$$

Масса крышки:

$$m_{кр} = 526,5 \text{ кг}$$

Масса днища:

$$m_{дн} = 870,3 \text{ кг}$$

Принимаем, что масса вспомогательных устройств (штуцеров, измерительных приборов, люков и т.д.) составляет 10% от основной массы колонны, тогда:

$$m_k = m_{об} + m_T + m_{кр}$$

$$m_k = 1,1 \cdot (9654,75 + 3550 + 526,5 + 870,3) = 16061,7 \text{ кг}$$

Масса колонны заполненной водой при гидроиспытании.

Масса воды при гидроиспытании:

$$m_B = 0,785 \cdot D_{вн}^2 \cdot H \cdot \rho_B.$$

$$m_B = 0,785 \cdot 2,6^2 \cdot 10,8 \cdot 1000 = 57311,3 \text{ кг}$$

Максимальная масса колонны:

$$m_{\max} = m_{\text{к}} + m_{\text{в}}$$

$$m_{\max} = 16061,7 + 57311,3 = 73372,6 \text{ кг}$$

Вес колонны:

$$G = g \cdot m_{\max}$$

$$G = 73372,6 \cdot 9,8 = 719051,3 \text{ Н} \approx 0,72 \text{ МН}$$

Рассчитаем толщину ребра:

$$\delta = \frac{2,24G}{knzl\sigma_{\text{с.д.}}} + C_{\text{к}} + C_{\text{окр}}$$

где  $G$  – максимальный вес аппарата при гидроиспытании, МН;  $n$  – число опор, используем 1 опору;  $z$  – число ребер в опоре, принимаем 4;  $\sigma_{\text{с.д.}}$  – допускаемое напряжение на сжатие (примем равным  $100 \text{ МН/м}^2$ );  $l$  – вылет опоры, м;  $k$  – коэффициент, примем равным 0,6.

$$\delta = \frac{2,24 \cdot 0,487}{0,6 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 0,45 \cdot 100} + 0,002 + 0,002 = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину ребра опоры, равную 14 мм.

Выбираем опору вертикальных цилиндрических аппаратов (тип I по АТК 24.200.04-90) с  $G_{\max}=1,6 \text{ МН}$  [37].

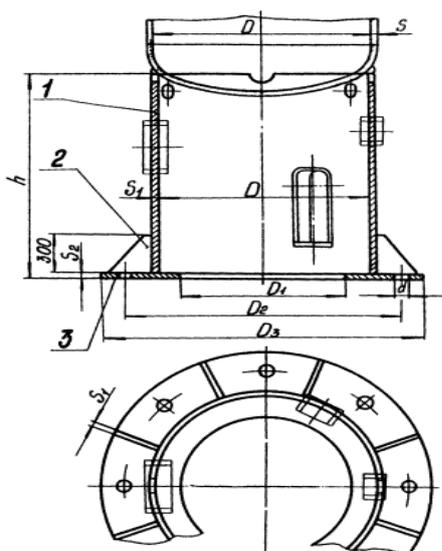


Рисунок 3.12 – Опора цилиндрическая с местными косынками:

1 – обечайка; 2 – косынка; 3 – кольцо нижнее

Таблица 3.13 – Основные размеры опоры колонны в мм

D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>	D
2600	2450	2780	2920	8	25	25	60

Таблица 3.14 – Фундаментные болты

Фунд.болт ГОСТ 24379.1-2012	
Диаметр резьбы, мм	Кол-во
36	16

## Приложение В