

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

---

Институт природных ресурсов

Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Анализ энергоэффективности схем фракционирования нефти

УДК 665.6.048.3-047.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ5А	Сабиев Аян Нурланович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент. каф. ХТТ и ХК	Самборская М. А.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына З.В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭБЖ	Немцова О.А.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТТ и ХК	Юрьев Е.М.	К.Т.Н.		

## Запланированные результаты обучения по программе

Результаты обучения		Б3.Б.2.1-2 Государственная итоговая аттестация	
Обозначение	Содержание	МДЭ	ВКР
<i><b>Профессиональные компетенции</b></i>			
P1	Применять базовые математические, естественно-научные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	+	+
P2	Применять знания в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	+	+
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	+	+
P4	Проектировать и использовать энерго- и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	+	+
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	+	+
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.	+	+
<i><b>Общекультурные компетенции</b></i>			
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности		+
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.		+
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.		+
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации		+

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



Институт природных ресурсов  
Направление подготовки (специальность) 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии  
Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

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

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
2КМ5А	Сабиеву Аяну Нурлановичу

Тема работы:

Анализ энергоэффективности схем фракционирования нефти	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от <u>31.01.2017 г. №421/с</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23 мая 2017 г.
--	----------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

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

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><b>Введение:</b> Актуальность совершенствования процессов ректификации; <b>ТЭО:</b> Патентный обзор схем ректификации и внутренних устройств ректификационных колонн; <b>Аналитический обзор:</b> методы и программные продукты для оценки эффективности, методы оптимизации процессов дистилляции; <b>Экспериментальная часть:</b> Разработка моделей фракционирования нефти, выполнение расчетов энергоэффективности, сравнительный анализ и оптимизация процессов; <b>Анализ результатов; Выводы</b></p>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	<b>Креницына Зоя Васильевна, к.т.н., доцент кафедры Менеджмента</b>
Социальная ответственность	<b>Немцова Ольга Александровна, ассистент кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности</b>

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Среда HYSYS

**Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику**

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент. каф. ХТТ и ХК	М. А. Самборская	к.т.н.		15.02.17 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2KM5A	Сабиев Аян Нурланович		15.02.17 г.

## **Реферат**

Дипломная работа 103 страницы, 52 источника, 35 рисунков, 29 таблиц, 2 приложения.

Ключевые слова: ректификация, моделирование, САПР, энергоэффективность, оптимизация.

Цель работы – разработка двух моделей фракционирования нефти: двухколонная модель без интеграций потоков и с интеграцией (схема Петлюка); выявление наиболее энергоэффективной схемы посредством эксергетического анализа и дальнейшая оптимизация ее технологических параметров.

Моделирование схем проводилось в САПР Aspen HYSYS. Эксергетический анализ велся с использованием программного пакета Excel. Технологическая схема с наибольшим значением суммарной эксергии оптимизирована с применением симплексного метода планирования и оптимизации.

Магистерская диссертация выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 шрифтом Times New Roman №14, с применением прикладных программ: «Aspen HYSYS».

## Список используемых сокращений

- НПЗ – нефтеперерабатывающий завод
- ТЭП – Техничко-экономические показатели
- ДНП – давление насыщенных паров
- ДФ – дизельная фракция
- БФ – бензиновая фракция
- ПЦО – промежуточное циркулярное орошение
- DWC – divided wall column
- САПР – система автоматизированного проектирования
- ХТС – химико-технологическая система
- ЭВМ – электронно-вычислительная машина
- УМП – универсальная моделирующая программа
- ПО – программное обеспечение
- ХТ – химико-технологический, химическая технология
- ИТК – истинная температура кипения
- КПД – коэффициент полезного действия
- МКО – многокритериальная оптимизация
- ВКР – выпускная квалификационная работа
- ТНК – точка начала кипения
- ТКК – точка конца кипения
- КМС – компьютерная моделирующая система

## Содержание

Введение.....	10
1. Современные схемы ректификации и конструкции внутренних устройств .....	12
1.1 Обзор базовых конфигураций схем ректификации.....	5
1.2 Повышение энергетической эффективности .....	6
1.3 Методы совершенствования установок ректификации нефти.....	10
1.3.1 Обвязка и интеграции.....	10
1.3.2 Использование высокоэффективных контактных устройств .....	14
1.3.3 Эффективное использование тепловой энергии потоков.....	15
2. Моделирование в САПР .....	17
2.1 Структура САПР .....	18
2.2 Ассортимент коммерческих САПР .....	19
2.3 Возможности HYSYS .....	21
2.3.1 Среда HYSYS .....	23
2.4 Возможности PRO/II.....	33
2.5 Методы анализа эффективности процессов дистилляции .....	34
2.5.1 Тепловой анализ.....	35
2.5.2 Эксергетический анализ.....	37
2.5.3 Расчет химической составляющей эксергии в процессе фракционирования нефти .....	39
2.5.4 Расчет физической составляющей эксергии в процессе фракционирования нефти .....	41
2.5.5 Термoeкономический анализ .....	42
2.6 Многокритериальная оптимизация.....	45
2.6.1 Математическая модель многокритериальной оптимизации .....	45
2.6.2 Симплексный метод планирования и оптимизации.....	47
3. Экспериментальная часть.....	50
3.1 Постановка задачи .....	50
3.2 Моделирование схем фракционирования.....	52

3.2.1 Моделирование схемы фракционирования без интеграции потоков .....	54
3.2.2 Моделирование схемы фракционирования с интеграцией потоков (Схема Петлюка) .....	58
3.2.3 Описание технологии (Схема Петлюка) .....	59
3.3 Эксергетический анализ схем фракционирования нефти.....	61
3.4 Оптимизация схемы фракционирования Петлюка.....	63
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	67
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	68
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	69
4.3 Диаграмма Исикавы.....	71
4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	72
4.4.1 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования .....	74
4.5 Инициация проекта .....	75
4.6 Планирование управления научно-техническим проектом .....	78
4.6.1 Бюджет научного исследования.....	78
4.6.2 Организационная структура проекта.....	82
4.6.3 Матрица ответственности .....	82
4.6.4 План проекта .....	83
4.7 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	83
4.7.1 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	83
5. Социальная ответственность .....	86
5.1 Производственная безопасность .....	87
5.1.1 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению (производственная санитария) .....	87
5.1.2 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению (производственная санитария) .....	91
5.2 Экологическая безопасность (Охрана окружающей среды) .....	93
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	97

5.4 Правовые и организационные мероприятия по обеспечению безопасности .....	99
5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	99
5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны ...	100
Заключение .....	101
Список литературы .....	102
Приложение А .....	107
Приложение Б .....	119
Приложение В.....	123

## **Введение**

Объем добычи и переработки нефти на рубеже XXI века достиг огромных показателей. Годовая добыча составляет более 3 млрд. т. нефти, и объемы добычи продолжают только расти. Ныне разведанные запасы составляют 100 млрд. тонн, их же распределение чрезвычайно неравномерно и характеризуется отдаленностью от мест их потребления и, в свою очередь, труднодоступностью. Проблема истощения нефтяных ресурсов является крайне актуальной и влечет за собой ряд рыночных и межгосударственных противоречий между добытчиками и потребителями нефти.

В этих условиях нефтедобыча должна обеспечивать глубокое и рациональное извлечение нефти, а нефтепереработка – глубокую и эффективную переработку нефтяного сырья, высокое качество нефтепродуктов (прежде всего моторных топлив и масел), экологически и технически безопасную технологию, и максимальное снижение энергопотребления на производство продукции [1,2].

Производство товарных нефтепродуктов не обходится без разделения нефти на составляющие фракции, которое в основном и в больших объемах реализуется посредством процесса ректификации, характеризующегося большой энергоёмкостью, сложностью и металлоемкостью конструкций массообменных аппаратов. Так, по данным фирмы « ГАЛФ ОЙЛ » в США на процессы ректификации ежегодно расходуется до 3% национального фонда потребления энергии [3]. Понижение этих расходов на 10% равнозначно дополнительной прибыли в год равной половине миллиарда долларов. Сравнительная доля затрат на схожие процессы в аналогичных отраслях промышленности России по причине отставания в технологичности процессов разделения даже превосходит вышеупомянутые цифры. Технико-экономические показатели НПЗ данной стадии производства в значительной степени определяют ТЭП нефтепереработки в целом. В связи с этим исследования в области совершенствования технологии процессов

фракционирования нефтепродуктов и их аппаратного оформления являются одним из важнейших направлений технического прогресса. К примеру, ежегодные затраты нефтяных компаний США на совершенствование процессов ректификации составляют более 2 млрд. долларов [3].

Глубина переработки нефти, а также технологичность процессов первичной переработки нефти на отечественных НПЗ отстает от уровня зарубежных НПЗ. Перенимание каких-либо отдельных решений, как в области технологии, так и в области аппаратного оформления процессов не всегда решает задачи снижения энергозатрат на производство и повышения качества продукции. Подобные заимствования, как правило, не носят системный характер и лишь решают задачи частного характера. В значительной степени это также относится к процессу ректификации, представляющего совокупность разных взаимосвязанных задач, решение которых должно осуществляться согласно стратегии системного анализа.

Совершенствование установок ректификации нефти может быть сгруппировано в следующих направлениях:

- Модернизация технологических схем реализации процесса посредством использования систем с тепловой и материальной интеграцией;
- Внедрение высокоэффективных контактных устройств (насадок) ректификационных аппаратов, обладающих высокой массообменной эффективностью и пониженным гидравлическим сопротивлением;
- Создание математических моделей процессов массо - и теплообмена процесса ректификации повышающих точность проектных решений;
- Модернизация тепло- и массообменного оборудования, направленная на интенсификацию процесса и снижение стоимости аппаратов разделения;

Исследование и совершенствование процессов разделения в нефте- и газопереработке предполагает широкое применение последних достижений в теории и практике во всех вышеотмеченных направлениях [4].

## **1. Современные схемы ректификации и конструкции внутренних устройств**

Существуют многочисленные варианты технологических схем фракционирования нефти, зависящие от множества факторов, среди которых: качество перерабатываемых нефтей, содержание светлых нефтяных фракций, легких газообразных углеводородов, сернистых соединений, удельные энергозатраты и так далее. Например, зарубежные тенденции проектирования были давно ориентированы на уменьшение числа ректификационных колонн (например, атмосферный блок, как правило, одноколонный, а в существующей в СНГ практике в 80 % атмосферных блоков применяют двухколонное исполнение), создание максимальной разделительной мощности, 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 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.

Создание новых технологий подготовки и переработки нефтей с учетом особенностей их составов – актуальная задача, решение которой позволит улучшить качество, расширить ассортимент продуктов, в том числе получаемых и используемых непосредственно на промыслах.

## 1.1 Обзор базовых конфигураций схем ректификации

Обычная четкая дистиляция нефти была внедрена в промышленность в вариантах как с прямой (рис. 1.1), так и непрямой (обратной) последовательностью дистиляционных колонн (рис. 1.2).

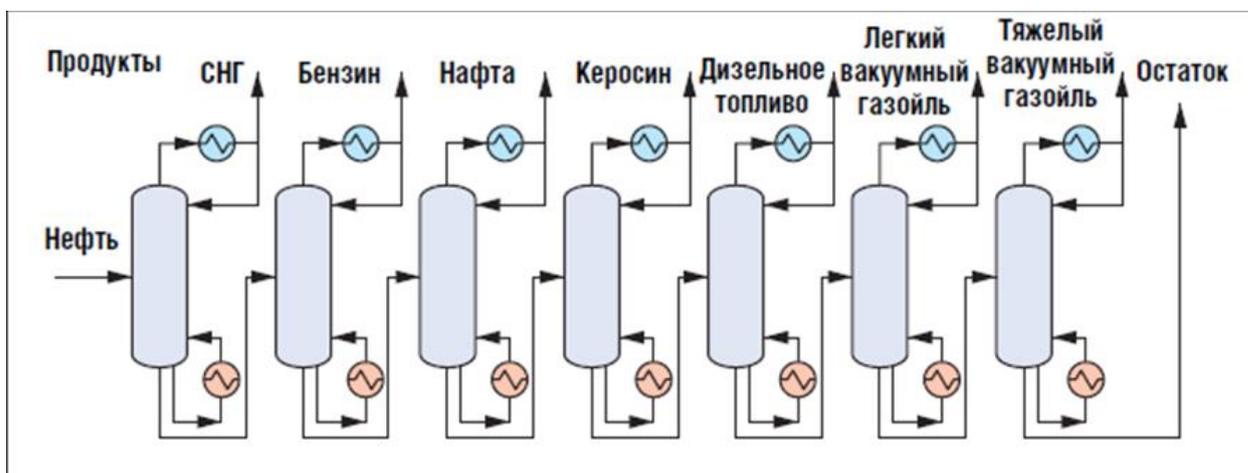


Рисунок 1.1 – Дистиляция нефтепродуктов с прямой последовательностью колонн

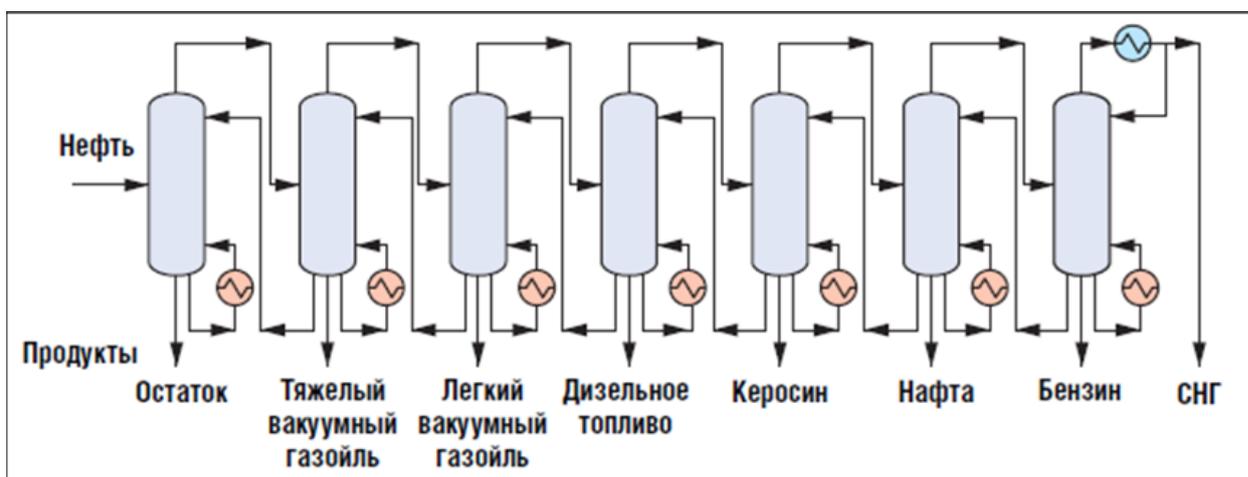


Рисунок 1.2 – Дистиляция нефтепродуктов с непрямой (обратной) последовательностью колонн

Преимущество процесса с прямой последовательностью заключается в том, что продукт испаряется при минимальной температуре, таким образом, минимизируя нагрев. Однако из-за необходимости удовлетворения требованиям продуктовой спецификаций (ДНП, температура вспышки, застывания и пр.), требуется орошение, перемешивание и повторное

испарение. То есть при любом остром орошении дважды тратится энергия на испарение части одного и того же потока и на его охлаждение.

Непрямая последовательность дистилляционных колонн не требует орошения и повторного перемешивания, поскольку возможно орошать предыдущую колонну кубовым продуктом последующей (рис. 1.2). Но этот способ требует нагрева всего объема подаваемого сырья до максимальной температуры для испарения всех продуктов перед фракционированием. Еще один недостаток не прямой последовательности заключается в отборе всего вакуумного газойля при самом низком давлении (глубоком вакууме). Несмотря на применение комбинаций этих процессов, все они имеют известные недостатки, потому что в них используется дистилляция по принципу «четкого разделения».

## **1.2 Повышение энергетической эффективности**

Разработка и совершенствование процессов ректификации в целом и фракционирования нефти в частности имеет целью повышение ресурсоэффективности процесса: более четкое разделение, снижение энергозатрат на ректификацию и очистку/утилизацию отходов. уменьшение отходов. Оптимизация может осуществляться как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации.

Затратная по энергии и капитальным затратам трехколонная схема, позволяет достичь высокой степени погоноразделения за счет игры на давлениях и температурах в основных колоннах (рис. 1.3). Здесь в явной форме реализован принципиально важный метод организации ректификации – распределенная ректификация, при которой происходит четкое разделение БФ и мазута с распределенной между ними ДФ.

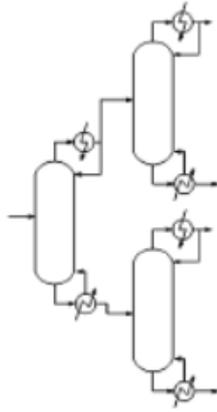


Рисунок 1.3 – Трехколонная схема с распределенной ректификацией.

Схема ректификации с тепловой интеграцией и префракционированием, предполагает предварительную отгонку легких фракций. Продуктовые потоки колонны префракционирования поступают как питание в соответствующие части основной колонны. ДФ отбирается из средней части основной колонны. Схема более жестко интегрирована по тепловым и материальным потокам и позволяет экономить значительные количества энергии и достичь высокой четкости разделения в более мягких условиях. Реализован принцип распределенной ректификации.

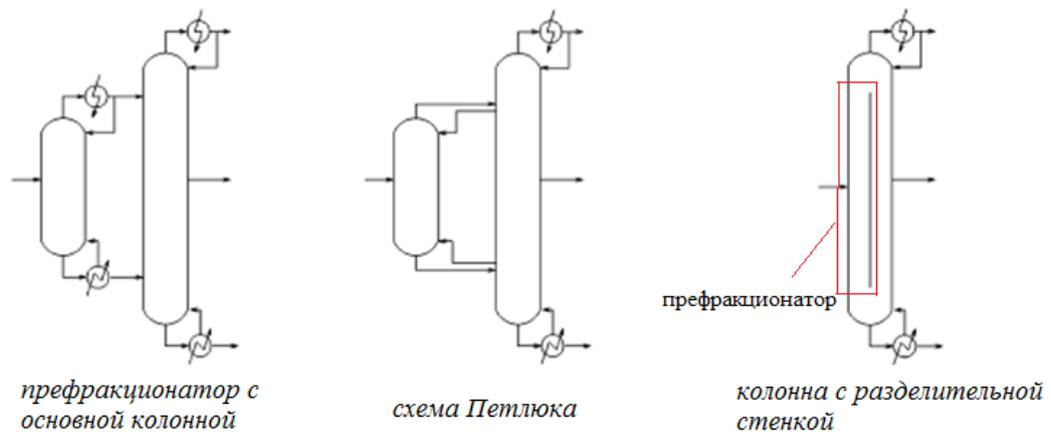


Рисунок 1.4 – Варианты организации распределенной ректификации.

Схема Петлюка считается полностью интегрированной по тепловым и материальным потокам, в ней не требуется подвод/отвод теплоты в префракционаторе, где происходит полное разделение БФ и остатка, в то время как ДФ распределяется между ними и затем отделяется в средней части колонны. Реализован принцип распределенной ректификации.

Если пренебречь передачей тепла через разделительную стенку, то эквивалентом схеме Петлюка по тепловой интеграции является колонна, оборудованная внутренней разделительной стенкой (рис. 1.4). Часть колонны работает как префракционер, в котором происходит разделение БФ и остатка, между которыми распределяется ДФ. В дальнейшем ДФ отделяется в верхней и нижней частях «основной» колонны. Здесь реализован принцип механической интеграции.

Схема Петлюка и колонны с разделяющей стенкой позволяют снизить и капитальные и эксплуатационные затраты (экономия энергии до 40%). Недостаток – сложность управления и регулирования, т.к. нет ни возможности регулировать поток флегмы, ни управлять паровым потоком.

Схемы, представленные на рис. 1.5, используют дополнительные колонны для боковых погонов, которые могут быть полностью интегрированы с основной колонной по тепловым потокам – схема Петлюка. Боковыми отгонными колоннами – стриппингами, из основной колонны отбирается жидкость и возвращается пар, боковыми ректификационными колоннами отбирается пар, возвращается жидкость. Весь поток питания направляется в основную колонну, значительно снижая нагрузку на боковые колонны, что влечет экономию капитальных вложений и энергетических затрат. Следует учитывать опасность, которую несут боковые отборы в жидкой фазе, заключающуюся в резком уменьшении орошения на нижерасположенных тарелках. Это ведет к необходимости организации ПЦО и, следовательно, дополнительным затратам на перекачку и отвод теплоты.

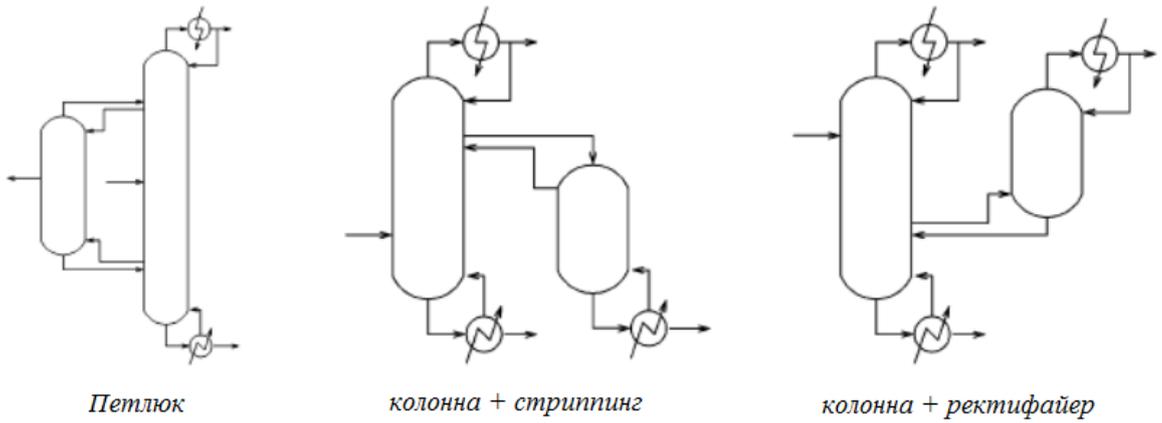


Рисунок 1.5 – Колонны с боковыми погонами.

Следующие две схемы – комбинации префракционатора и схемы Петлюка.

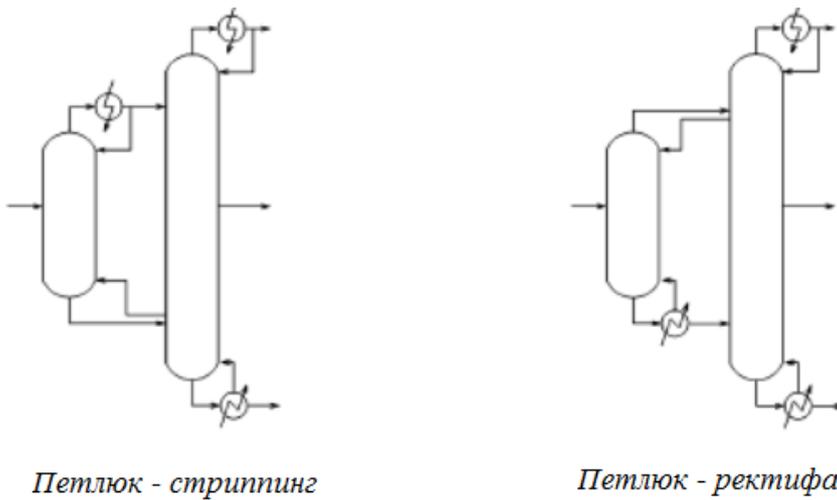


Рисунок 1.6 – Вариации схемы Петлюка.

Комбинируя предложенный набор вариантов организации ректификации можно создать любую схему для разделения любых продуктовых смесей, в т.ч. азеотропных.

### **1.3 Методы совершенствования установок ректификации нефти**

Направления модернизации установок условно можно разделить по следующим направлениям:

- Модернизация технологических схем посредством изменения числа колонн в схеме, изменения их обвязки и интеграции потоков
- Использование высокоэффективных контактных устройств
- Эффективное использование тепловой энергии потоков

#### **1.3.1 Обвязка и интеграции**

Предложен метод [5] ректификации нефти предусматривающий использование блока конденсации в виде конденсатора-холодильника и рефлюксной емкости (рис. 1.7), который подключен к верху каждой из колонн. Дополнительно установка снабжена блоком улавливания низкокипящих компонентов бензина, представляющей из себя последовательно подключенные компрессор, конденсатор-холодильник и сепаратор в виде сборной емкости. Технически данная реализация процесса ведет к снижению энергозатрат на перегонку нефти, повышение отбора светлых нефтепродуктов и улучшение их четкости разделения.

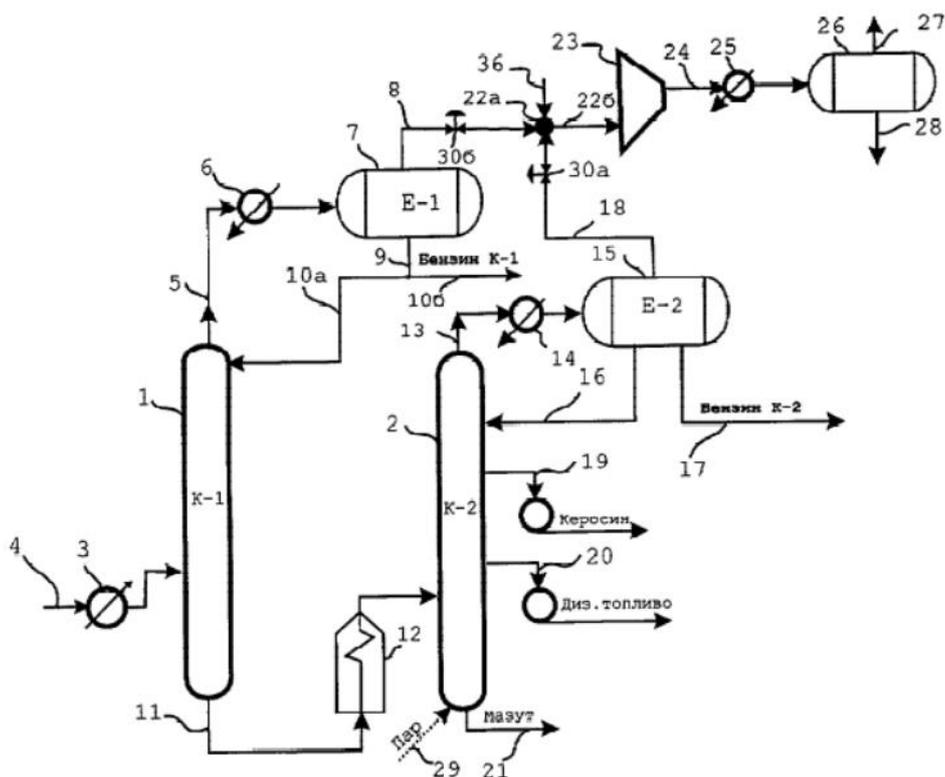


Рисунок 1.7 – схема ректификации согласно [5]

Особенностью способа [6] является организация дополнительного бокового погона с нижней полуглухой тарелки укрепляющей секции первой атмосферной колонны на нижнюю полуглухую тарелку второй колонны, обеспечивающей дополнительный нисходящий поток жидкости и отбор газойля. Среди заявленных выгод: снижение энергозатрат на ведение процесса и увеличение отбора нефтепродуктов во второй колонне.

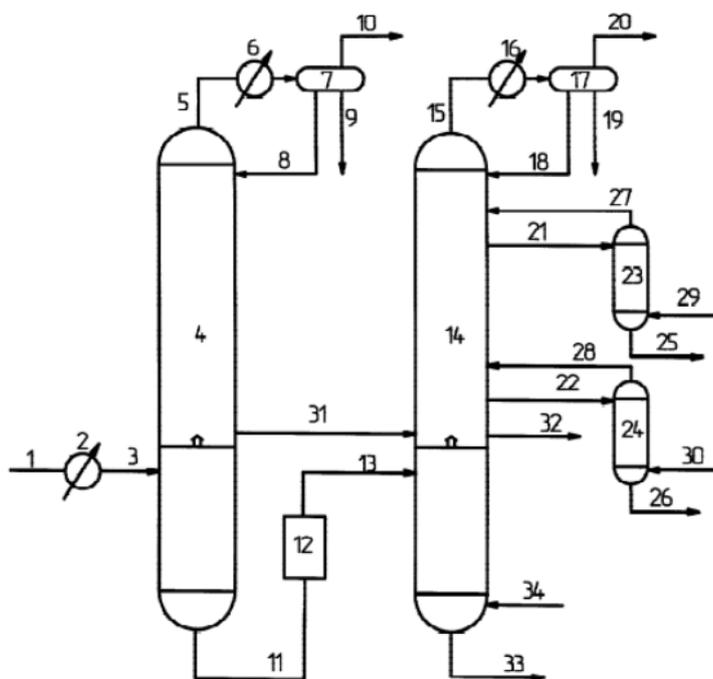


Рисунок 1.8 – Схема ректификации согласно [6]

Автор [7] предлагает разбивать нагретое сырье на два потока и большую часть вводить в куб, а оставшуюся в среднюю часть первой колонны. Из середины первой колонны организован боковой погон, состоящий из смеси легкой и тяжелой бензиновой фракции и подаваемый на орошение в сложную колонну. Важно то, что орошение в сложную колонну подается в сечение между отборами в отпарные секции керосиновой и дизельной фракции. Причем в секции выше отбора бокового погона колонны частичного отбензинивания необходимо иметь 64%, а в секции выше ввода подогретого сырья - 9% от общего количества тарелок в колонне. Подобная организация процесса влечет увеличение производительности по сырью, снижение энергетических и капитальных затрат.

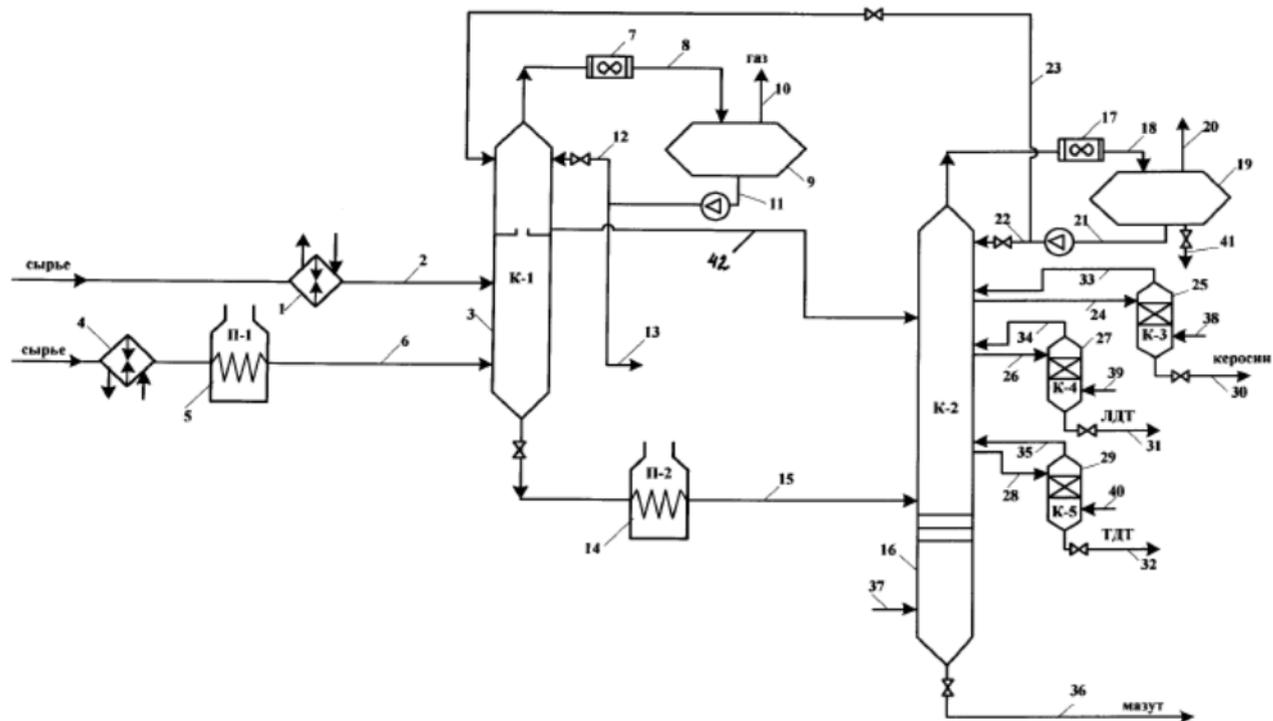


Рисунок 1.9 – Схема ректификации согласно [7]

Автором [8] разработана ранее упомянутая (рис.1.4) модификация известной колонны Петлюка (рис.1.10), исключая колонну-префракционер. На Западе подобная колонна получила название (divided wall column - DWC). Исходная смесь разделяется на чистые продуктивные потоки посредством использования лишь одной колонны, одного конденсатора и одного рефрактора. Все вместе разительно снижет стоимость разделения и металлоемкость производства в целом.

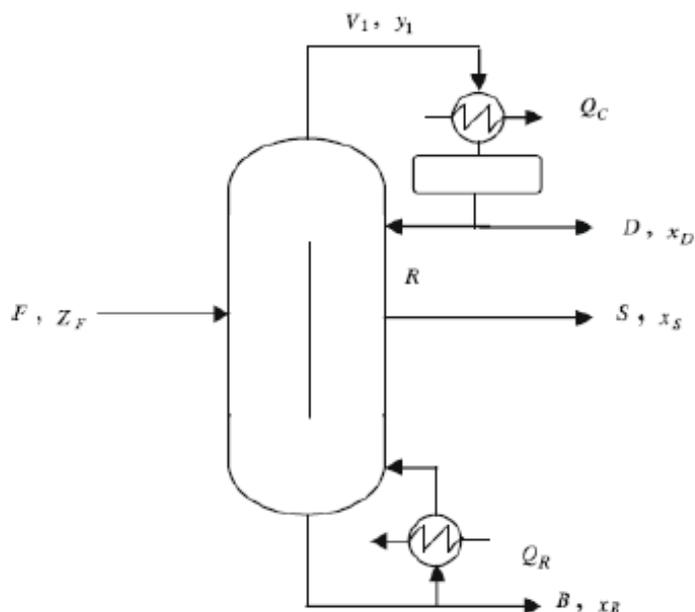


Рисунок 1.10 – Колонна с разделительной стенкой (DWC) [8]

Недостатком колонн с разделительной стенкой является наличие большого количества степеней свободы, обуславливающих сложность управления и проектирования. Сокращение энергозатрат происходит за счет тепловой интеграции, но это влечет за собой невозможность отдельного контроля и управления.

### 1.3.2 Использование высокоэффективных контактных устройств

В работе [9] предлагается использование колпачковой тарелки для массообменных колонн, допускающую варьирование нагрузок в широких пределах. Она проста в конструктивном исполнении и допускает простой монтаж и демонтаж. На тарелке установлено большое число параллельно смонтированных направляющих держателей. В статье приводятся особенности функционирования описываемой колпачковой тарелки.

Ю.К. Молокановым сконструирована струйная тарелка [10] (рис. 1.11). Жидкость с вышележащей тарелки, проходя через переливное устройство, сливается на нижележащую тарелку, затем попадает в сопло, образованное согнутым краем отбойной перегородки и основанием тарелки.

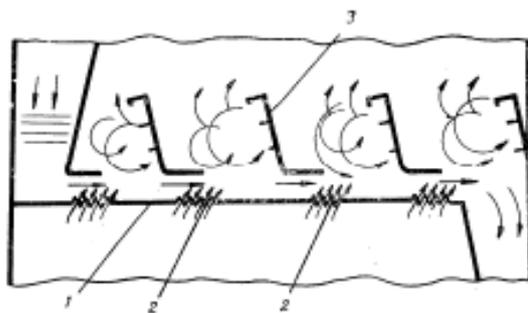


Рисунок 1.11 – Контактная струйная тарелка [10]

1- тарелка, 2- сопловые отверстия, 3- отбойные перегородки

Пар с нижней тарелки распределяется по соплам 2 и под углом с высокой скоростью попадает в жидкость. Следствием взаимодействия является парожидкостная смесь, направляющаяся на отбойные элементы 3. Вследствие горизонтальной составляющей скорости потока пара на выходе из отверстий 2 через сопло всасывается жидкость из предыдущей секции и транспортируется к сточной стороне. Подобная тарелка увеличивает время контакта фаз, интенсифицирует массопередачу и увеличивает производительность струйных тарелок.

Предлагается новая конструкция слива тарелок в ректификационных колоннах [11]. Тарелка представляется состоящей из двух направляющих устройств на периферии, снабженных наклонными просечками. Они в свою очередь создают горизонтальный поток жидкости и газа по площади тарелки и на выходе сливного устройства. Запатентованный слив может быть применен в ректификационных колонных, оборудованных колпачковыми, ситчатыми и другими видами тарелок. Метод слива улучшает протекание массо - и теплообмена в колоннах разделения.

### 1.3.3 Эффективное использование тепловой энергии потоков

Предложенная схема [12] предполагает наличие одной сложной колонны, в которую помимо сырья также подается перегретый водяной пар, который впоследствии конденсируется с нефтепродуктами и отделяется. В схеме также присутствует острое и промежуточное циркуляционное орошение. Отмечается, что для создания парового потока в отпарных

колоннах используют пленочные испарители. Роль теплоносителя в испарителях играют пары, подаваемые с нижележащих тарелок сложной колонны. Таки образом достигается увеличение производительности колонны, снижение энергозатрат, повышение качества разделения, увеличивается отбор светлых фракций, снижается количество загрязненных сточных вод.

В патенте [13] описывается метод стабилизации бензина в вертикальной фракционирующей колонне с падающей пленкой и тремя тепло-массообменными секциями. Верхняя секция 1 расположена выше зоны питания, две других 2,3 расположены ниже. Верхняя секция аппарата охлаждается подачей хладагента. Нагрев средней нижней секций осуществляется подачей теплоносителя, причем в роли теплоносителя средней секции выступает стабильный бензин, подаваемый из куба колонны. В совокупности все это приводит к упрощению, повышению выхода стабильного бензина и снижению энергозатрат.

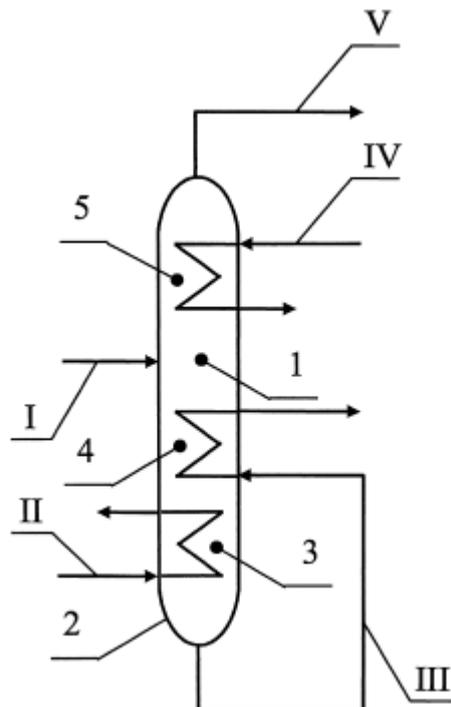


Рисунок 1.12 – Колонна стабилизации бензина согласно [13]

Повышению энергоэффективности также служит использование теплового насоса. На схеме (рис. 1.13) верхний продукт колонны сжимается в

компрессоре. Сжатые пары могут быть использованы как теплоноситель в кипятильнике колонны. Посредством компрессора достигается температура выше пара выше той, что в кипятильнике. Таким образом, тепло системы экономно расходуется.

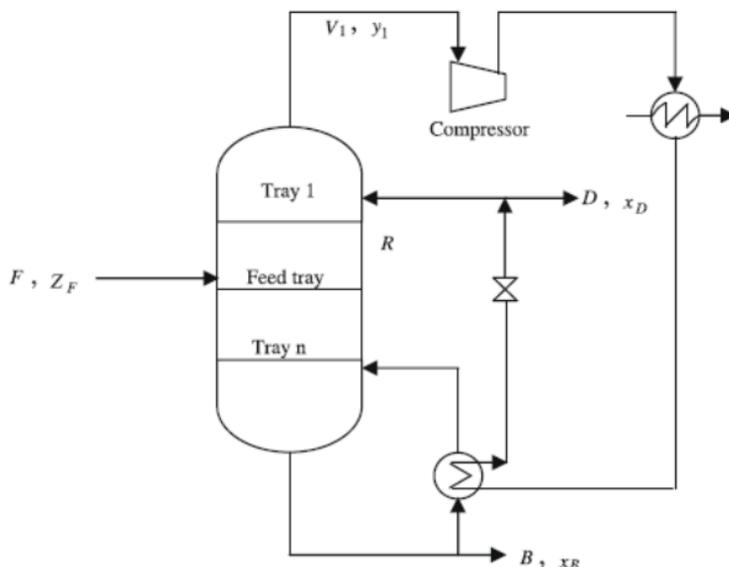


Рисунок 1.13 – Использование теплового насоса при ректификации

## 2. Моделирование в САПР

Зачастую химико-технологическая система имеет рециклы, а ее структура замкнута. В связи с этим расчет тепловых и материальных балансов - обязательных этапов любого проектирования ХТС, сводится к решению системы нелинейных уравнений. Расчет представляет собой сложную и трудоемкую процедуру с множеством итераций. В настоящее время компьютерное моделирование ХТС поистине доказало свою рациональность и актуальность. Посредством компьютерного моделирования удастся значительно увеличить эффективность работы технологической схемы и качество ее управления. Особую роль компьютерное моделирование играет в сокращении сроков проектирования, позволяет быстро оценить большое число альтернативных вариантов по организации производства и

выбора оптимальных параметров; проектировщики освобождаются от трудоемкой рутинной работы с документацией.

Учитывая, что в данном случае моделируется не отдельный процесс, а химическое производство, включающее множество потоков и аппаратов, добиться корректной постановки и наилучших результатов решения задачи возможно с использованием САПР, таких как ASPEN, HYSYS, PRO-II и ChemCAD [14].

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

Современные САПР позволяют использовать ранее накопленный опыт, дабы исключить, фактически невозможные варианты реализации ХТС и сократить время поиска оптимума. Профессиональная лексика используется как диалоговый язык, что значительно облегчает работу проектировщика и освобождает его от изучения вычислительных техник. Процесс моделирования полезен на протяжении всего жизненного цикла процесса, от исследований и разработок до момента утилизации.

## **2.1 Структура САПР**

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 так же 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.

## **2.2 Ассортимент коммерческих САПР**

САПР в области нефтепереработки представлены широким ассортиментом товарных знаков и продуктов.

- [AspenTech](http://www.aspentech.com/) <http://www.aspentech.com/> – поставщик интеллектуальных программных продуктов и сервисов управления и проектирования для ХТ промышленности

- [Aurel Systems](http://www.aurelsystems.com/) <http://www.aurelsystems.com/> – ПО для проектирования, модернизации, управления и оптимизации новых или действующих процессов. Открытый банк углеводородов.

- [Bryan Research & Engineering, Inc.](http://www.bre.com/) <http://www.bre.com/> – поставщик программных продуктов ProMax с модулем TSWEET и PROSIM. Моделирующие программные продукты, используются для проектирования и оптимизации газо-, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств.

- [Chemstations, Inc – Process Simulation Software](http://www.chemstations.com/) <http://www.chemstations.com/> – полный набор инструментов для моделирования стационарных или динамических состояний химических процессов. Работает с периодическими, полупериодическими и непрерывными системами. Можно бесплатно получить демо-версию продукта, просто пройдя по ссылке.

- DESIGN II for Windows Process Simulation [www.winsim.com/](http://www.winsim.com/) – точное моделирование химических и нефтехимических процессов, включая подготовку, разделение и переработку нефти и газа, кристаллизацию, а так же расчёт трубопроводов. Также была доступна бесплатная демоверсия продукта, пока не попали в список стран на которые распространяются санкции США (Иран, Ирак, Куба и пр.)

- [Virtual Materials Group Inc](http://www.virtualmaterials.com/) <http://www.virtualmaterials.com/> – Предлагают ПО для моделирования процессов нефтяной, газовой и химической промышленности. – VMGSim. Есть специальный ПО для расчета термодинамики (VMGThermo) и динамического моделирования (VMGSim Dynamics).

Все вышеперечисленные продукты являются платными. Кроме этих продуктов существует еще множество аналогов.

[Computing in Technology GmbH](#) – компания-разработчик ПО в сфере химических расчётов, таких как моделирование макромолекулярных

процессов (полимеризация), моделирование кинетики и промышленной кристаллизации.

[IDEAS Simulation Inc.](#) – предлагает программный комплекс для стационарного и динамического моделирования различных ХТ производств.

КВС: Petro-SIM – полнофункциональный графический симулятор процессов от KBC technology и операционной среды моделирования для лучших возможностей моделирования процессов и установок разделения и переработки нефти и газа.

[PFID: Dynochem](#) – ПО для инженеров – проектировщиков в сфере ХТ. Предназначено для моделирования и масштабирования аппаратуры органического синтеза в периодической промышленности.

[Physical Process Modeling](#) – моделирование, анализ и проектирование теплопереноса, АС/DC и электромагнитных блоков, систем индукционного нагрева и электрических печей нагрева сопротивлением.

[ProSim](#) – целый набор ПО и сервисов для моделирования процессов, предназначенных для химической, нефтехимической и фармацевтической промышленности.

[RSimpoint, Inc.](#) – ПО для химического и термодинамического моделирования, разработанное специально для разнообразных систем газо- и нефтепереработки, а так же химической промышленности.

Ко времени расцвета компьютерного моделирования с появлением персональных компьютеров в результате длительного процесса из общего числа выделились Aspen Hysys и Pro/II, которые и заняли лидирующее положение в мире.

### **2.3 Возможности HYSYS**

В ходе выполнения практической части дипломной работы мной была задействована САПР HYSYS. В связи с этим в дальнейшем будет представлено более наглядное описание возможностей данной моделирующей системы.

Компьютерная система моделирования HYSYS широко используется различными организациями для исследования химико-технологических процессов и, в частности, для исследования процессов переработки нефти и газа. База данных HYSYS позволяет вычислять физические свойства сложных неидеальных смесей. Библиотека прикладных программ HYSYS содержит расчетные модели типовых аппаратов химической технологии, помогающие пользователю достаточно быстро описывать различные технологические схемы. На практике существующий набор программ не позволяет отобразить все варианты технологических схем, поэтому при решении конкретных задач часто возникает потребность в разработке новых прикладных программных модулей, учитывающих специфические особенности исследуемого технологического процесса.

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.

### **2.3.1 Среда HYSYS**

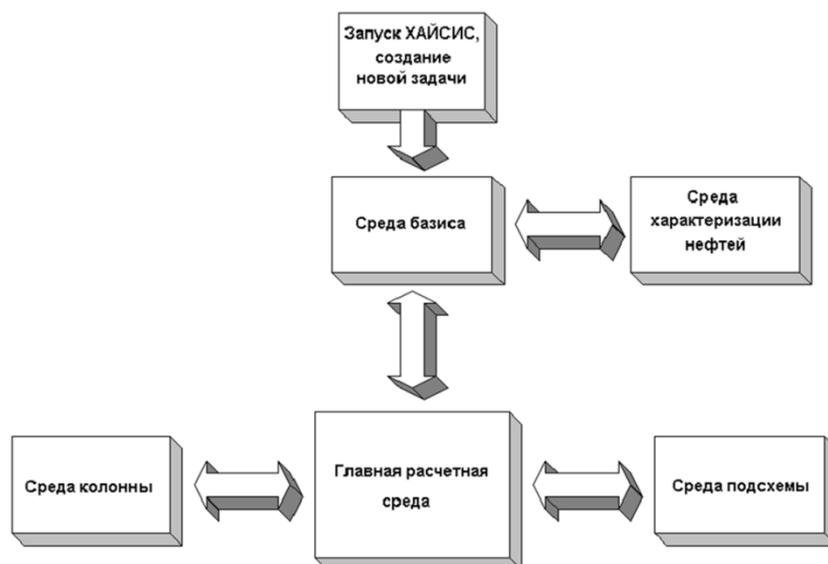


Рисунок 2.1 – Архитектура интерфейса HYSYS

### Архитектура интерфейса HYSYS

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

«Характеризация нефти» – вкладка позволяет ввести имеющиеся данные о нефти и разбить её на псевдокомпоненты.

«Главная расчётная среда» - это редактор технологических схем и интерфейс для расчёта. Содержит большой набор аппаратов ХТС [15].

### Функциональные кнопки основного меню

Таблица 2.1 Функциональные кнопки основного меню HYSYS

Название	Кнопка	Описание
Новая задача		Создает новую задачу
Открыть задачу		Позволяет найти и открыть уже существующую задачу/шаблон/колонну
Запомнить задачу		Записывает на диск текущую активную задачу
PFD (process flow diagram)		Открывает графический экран текущей схемы
Рабочая тетрадь		Открывает рабочую тетрадь текущей схемы

Название	Кнопка	Описание
Навигатор		Осуществляет доступ к навигатору объектов схем
Навигатор схемы		Осуществляет доступ к навигатору схем
Динамический помощник		Осуществляет доступ к программе помощи при работе в динамическом режиме.
Колонна		Открывает специализированное окно колонны
Стационарный/динамический		Осуществляет переключение между стационарным и динамическим режимами работы
Активный Ожидание Пуск/Останов (стационарный режим)		В главной среде: осуществляет переключение между активным режимом и режимом ожидания. Зеленый (левый) – активный. В среде колонны: производит пуск/остановку расчета колонны. Зеленый (левый) – пуск.
Интегратор (динамический режим)		Осуществляет запуск и остановку интегратора – расчётной программы динамического режима. Зеленый (левый) – пуск.
Базис		Вход в среду базиса.
Родительская схема		Осуществляет возврат из подсхемы в родительскую схему, например, из подсхемы колонны в главную схему.
Среда нефтяного пакета		Осуществляет вход в среду нефтяного пакета из среды базиса.
Выход из среды		Если Вы находитесь в нефтяном пакете – возврат в среду базиса, если в среде базиса – возврат в основную среду.

## Работа с Диспетчером базиса

Диспетчер, или **среда базиса** –   это самая первая часть интерфейса Hysys. В этой среде необходимо описать химические вещества, их превращения и термодинамику моделируемой системы.

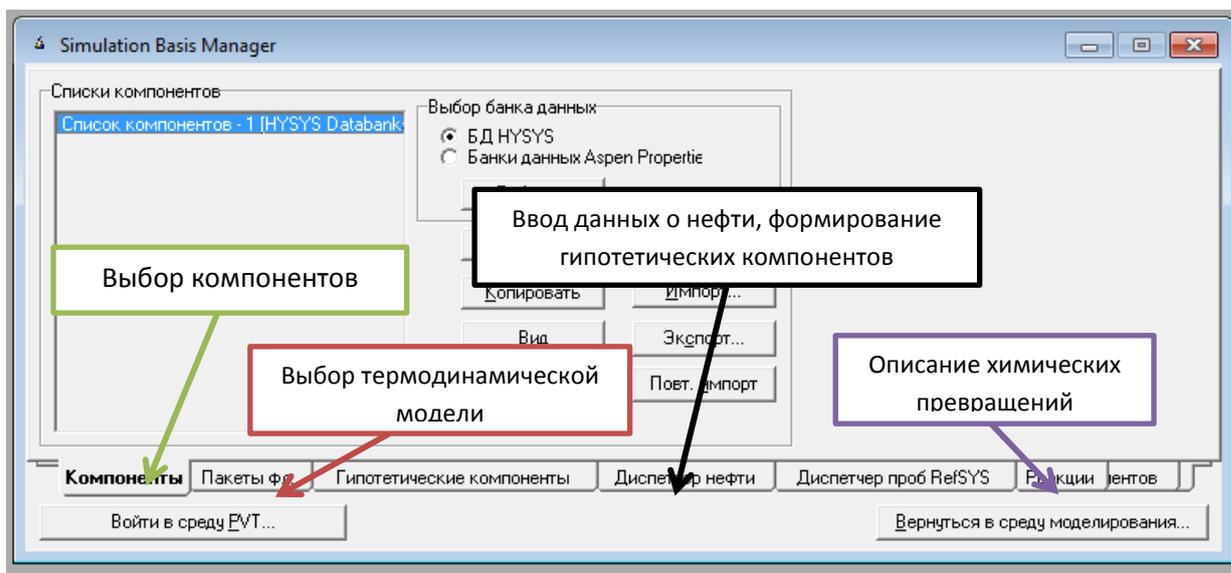


Рисунок 1.2 - Среда базиса: Основные задачи

### Выбор компонентов

Стандартная библиотека компонентов в HYSYS очень велика (содержит более 10 тыс. компонентов). Компоненты в ней разбиты на 2 группы: традиционные и гипотетические.

Компоненты добавляются во вкладке «**Компоненты**». Этой вкладкой пользуются, когда компоненты представляют собой конкретные химические вещества. На рис. 2.3 представлено окно выбора компонентов. Выбор компонентов осуществляется из достаточно большой базы данных по компонентам. Поиск в базе данных можно выполнять по названию, или химической формуле вещества. Можно применить фильтры поиска – по типу веществ и нужному термодинамическому пакету

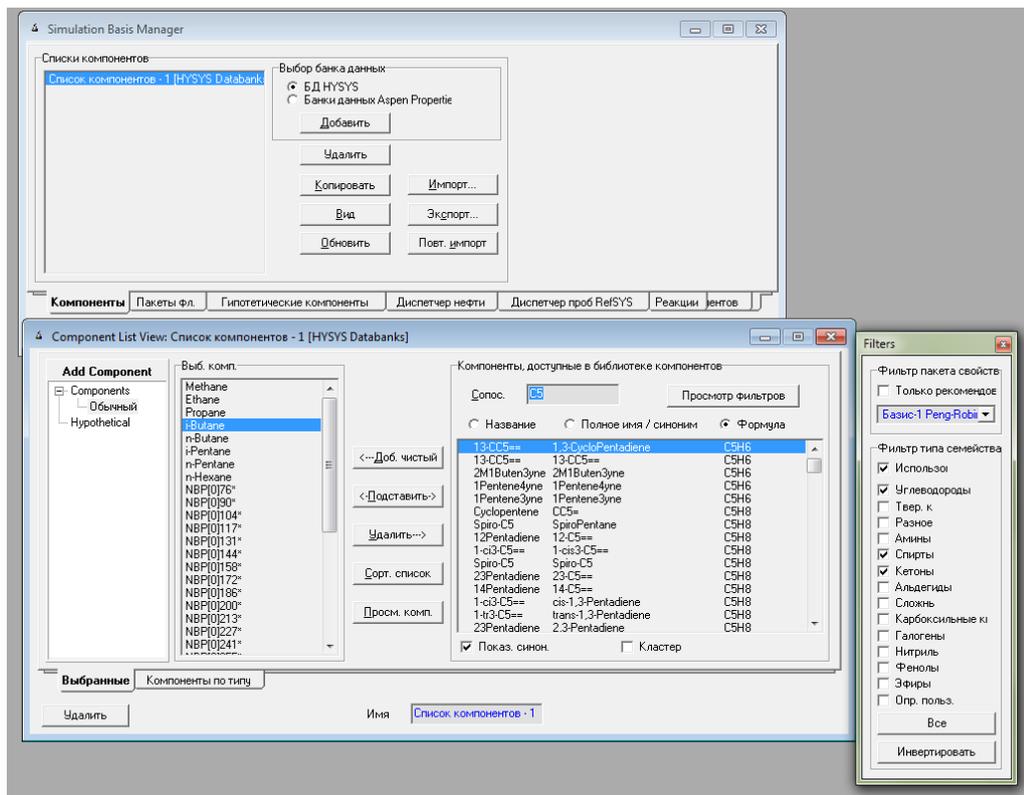


Рисунок 2.3 – Окно выбора компонентов

## Выбор термодинамической модели

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

В Hysys термодинамические модели разделены на следующие группы (рис. 2.4):

- **Уравнения состояния** (свойства идеальных систем)
- **Модели активности** (расчёт констант фазового равновесия неидеальных систем с учётом межмолекулярного взаимодействия)
- **Обобщенные корреляции** (метод расчета констант фазового равновесия Чао-Сидера, метод расчета плотности жидкости API и др. эмпирические методы)
- **Модели упругости паров** (свойства димеризующихся веществ)

- Прочие модели (Специальные пакеты HYSYS и т.п.).

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

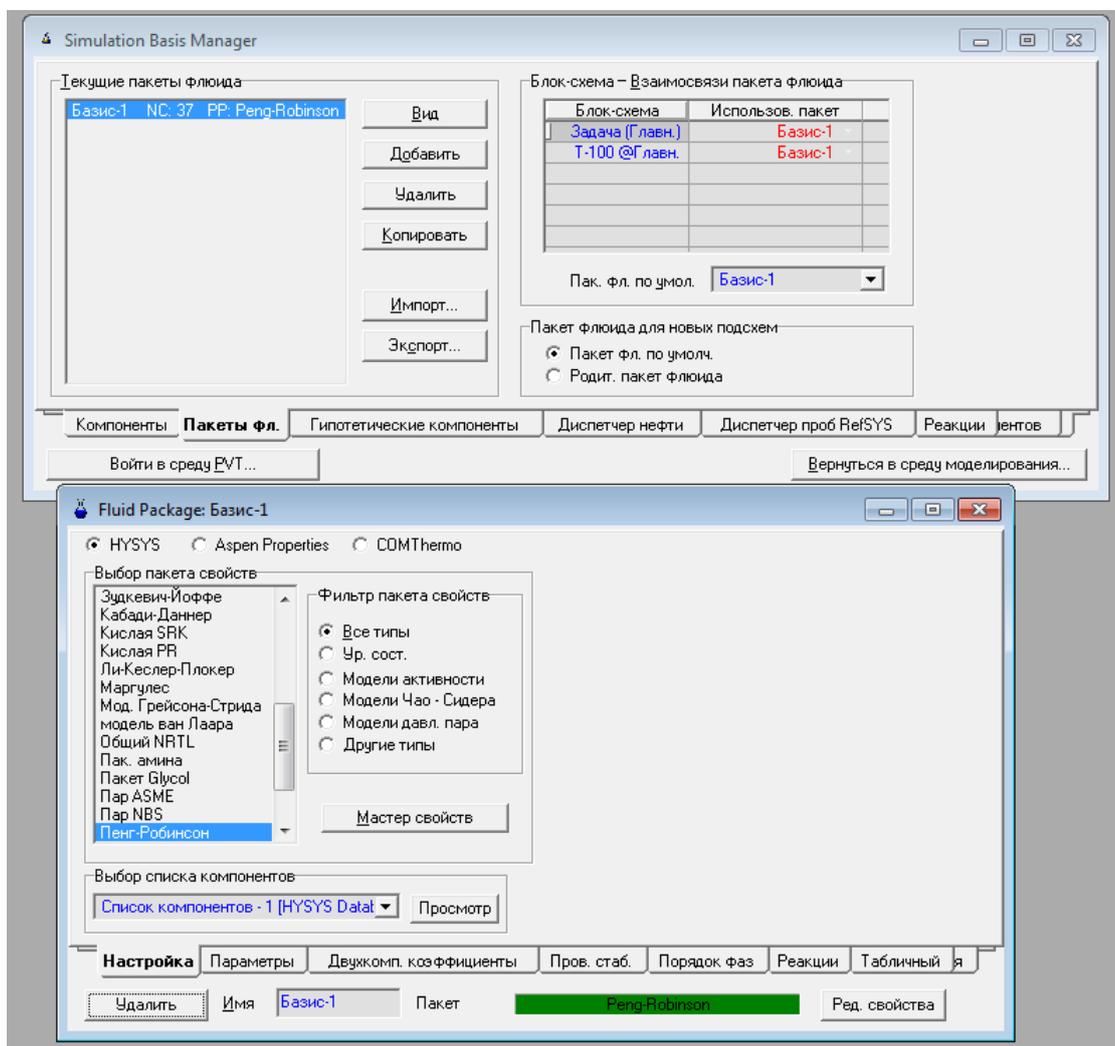


Рисунок 2.4 – Группы термодинамических моделей.

Вкладки в окне «**Fluid Package**» содержат ряд параметров.

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

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

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

### Диспетчер нефти

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

После выбора термодинамического пакета переходим к вкладке «**Диспетчер нефтей**», содержащую кнопку «**Вход в Нефтяной пакет**». Нажимаем кнопку.

### Ввод данных о нефти

В появившемся окне «**Характеризация нефти**» → «**Набор данных**» (или «**фрак. нефти**»), нажимаем кнопку «**Добавить**» (рис. 2.5). В открывшемся окне необходимо выбрать свойства из предлагаемого ассортимента и задать их значения.

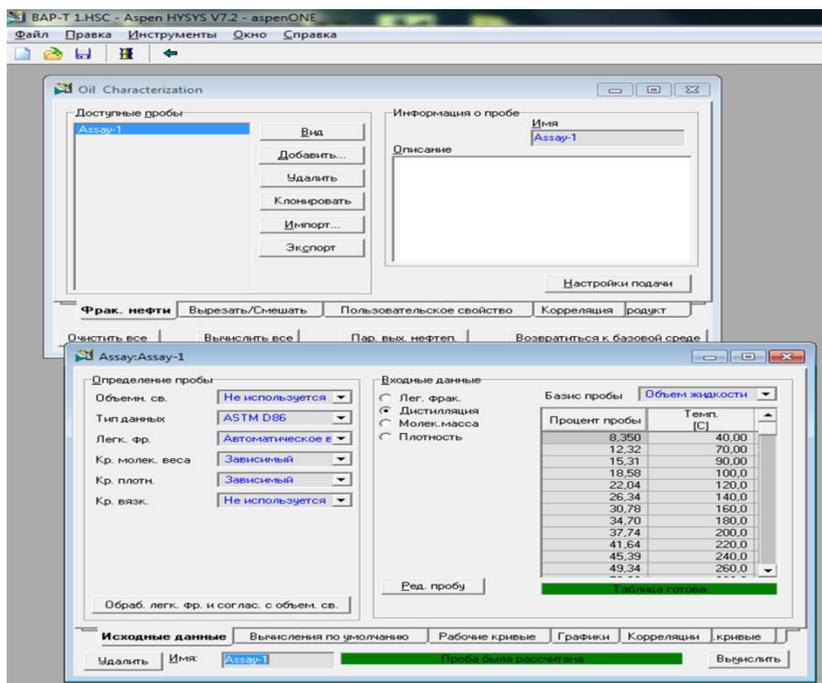


Рисунок 2.5 - Характеризация нефти

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

**Свойства образца нефти** (плотность, вязкость, молекулярный вес).

При их наличии выбираем Used, при отсутствии – Not used.

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

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

Значения имеющихся данных вводятся в поле «Входные данные». Для обозначения концов кипения на кривой ИТК должны быть точки, соответствующие долям отгона 1 и 100 %. Минимальное необходимое для расчёта количество точек – 5. После ввода всех данных нажимаем кнопку «Вычислить».

После расчёта на вкладке «расчётные кривые» становятся доступными кривая разгонки по ИТК, кривые плотности, молек. веса, вязкости. Та же информация в графическом виде доступна на вкладке «Графики».

Возвращаемся в «Диспетчер базиса» . Нажав соответствующую кнопку  переходим в «расчётную среду» для составления схемы потоков (PFD)

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

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

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

Исходными данными служат параметры потоков и аппаратов, задаваемые при составлении технологической схемы в меню конкретного

аппарата, или потока. Расчёты можно проводить как в стационарном, так и в динамическом режимах.

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

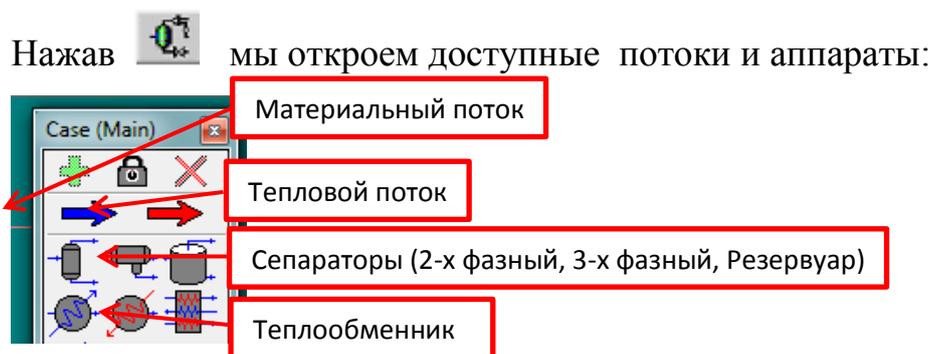


Рисунок 2.6 – Часть инструментария PFD

Для работы в расчетной среде существует свой набор функциональных кнопок:

Таблица 2.2 – Набор функциональных кнопок расчетной среды HYSYS

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

Название кнопки	Кнопка	Функция
		очертите ту часть схемы, масштаб которой предполагается изменить. Для изменения масштаба можно воспользоваться также инспекцией экрана PFD: выберите Режим (Mode) и затем – Масштаб (Zoom), либо выбрать пункт меню PFD – Увеличительное стекло (Drag Zoom).
Добавить описание (Add Text Annotation)		Эта кнопка позволяет добавить текстовое описание к графическому изображению схемы. Когда кнопка нажата, курсор изменяет свой вид и появляется прямоугольная рамка. Установите рамку на тот участок, где должен быть помещен текст, нажмите левую кнопку мыши и введите необходимый текст в появившееся диалоговое окно.
Схема цветов (Colour Scheme)		С помощью этой кнопки выбирается схема цветов графического экрана.
Ускоренная маршрутизация (Quick Route)		Этот режим позволяет быстро переносить изображения операций схемы вместе с соединенными потоками. При этом соединительные линии могут накладываться на изображения операций. При отключении кнопки схема будет автоматически перерисована таким образом, что линии не будут накладываться на картинки.
Панель объектов (Каса объектов)		Панель объектов содержит всевозможные объекты технологической схемы. При нажатии этой кнопки отображается/скрывается панель объектов.

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

### **Окно колонны**

При выборе спецификаций число степеней свободы должно быть равным 0. Это достигается установкой/снятием галочки «активная» в типе спецификации. Расчёт ведётся до тех пор, пока введенные значения для активных спецификаций не совпадут с рассчитанными в HYSYS. Примерный набор спецификаций показан на рисунке. Если долго считается – плохие начальные приближения или неверно заданы спецификации.

### **Вывод результатов**

Возможны 2 варианта вывода результатов.

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

Второй – осуществляется путём создания отчётов. Содержание отчётов задаёт пользователь, включая, или исключая из них соответствующие таблицы и этапы расчёта. Имеется возможность экспорта данных (таблиц, графиков, технологических схем) в сторонние приложения. Отчёты так же можно сохранять в файл.

Находим в меню «Инструменты» → «Отчёты». Кликаем кнопку «Создать» и «Добавить таблицу».

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

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

## **2.4 Возможности PRO/II**

Для PRO/II характерно следующее:

Расчёт содержит те же этапы, что и HYSYS, однако, вводить данные можно в любой последовательности. Изначально доступен ввод любых данных, не зависимо от наличия других. При этом, при отсутствии каких-либо необходимых данных, расчёт произведен не будет. Кроме этого, следует отметить, что в PRO/II имеется несколько больше возможностей конструктивных расчётов. Предоставляемая пользователю аппаратура имеет чуть более широкий спектр.

Возможности оптимизации значительно выше. В программу заложены математические программы, основанные на методе последовательного

квадратичного программирования, который занимает сейчас лидирующее положение среди других методов. Остальные возможности – те же, что и у HYSYS.

Т.о. обе описанные САПР имеют модульную структуру, большую информационную базу, обширный набор модулей и подмодулей для расчёта различных элементов ХТС, выполнения конструктивных, оптимизационных и других расчётов, а также поддерживают большинство возможностей и функций, свойственных современному ПО (экспорт объектов в сторонние приложения, поддержка устройств печати и др.).

Как уже отмечалось, большинство современных САПР содержат модули для оптимизации, базирующиеся на современных методах и алгоритмах. И, хотя эти модули предназначены для решения оптимизационной задачи в её традиционной постановке, какой бы метод мы ни выбрали, надстройка над оптимизационным модулем в этих программах (даже самая простая) для пользователя крайне затруднительна, либо методы оптимизации слишком простые для решения таких задач.

## **2.5 Методы анализа эффективности процессов дистилляции**

Энергетическая эффективность любого производства характеризуется полнотой использования подаваемой извне и производимой внутри энергии, тем насколько низки ее потери.

Энергетические потери принято разделять на две группы с точки зрения их распределения:

- внешние, связанные с условиями взаимодействия системы с окружающей средой;
- внутренние, связанные с необратимостью любых реальных процессов, протекающих внутри системы.

Значения внешних и внутренних потерь вычисляют на основании первого и второго начала термодинамики, соответственно [4].

### 2.5.1 Тепловой анализ

Данный метод анализа позволяет нам получить информацию об энергетических и тепловых потоках в системе. Эти сведения позволяют сопоставить разные схемы ректификации и выбрать оптимальные условия работы аппаратов.

Термический анализ проводится на основе расчета всех тепловых потоков в системе. Предполагается, что система находится в стационарном режиме.

Задачей теплового анализа системы является определение тепла поступающего в систему и выходящего из нее вместе с технологическими потоками, и эффективности его использования внутри системы.

Взаимодействие отдельных устройств и элементов системы друг с другом, а также с окружающей средой осуществляется посредством физических потоков. Существуют два типа физических потоков: технологические и условные. Технологические потоки осуществляют взаимосвязь элементов в системе и ее связь с окружающей средой. Каждый отдельно взятый технологический поток выполняет свою функцию в работе всей системы. Условные тепловые потоки представляют собой потери тепла и энергии [16].

Технологические потоки в свою очередь могут быть как материальными, так и тепловыми. Расход тепла уходящего с материальными потоками определяется с использованием энтальпии.

Энтальпией является функция внутренней энергии системы и энергии давления вещества [17]:

$$i = u + PV \quad , \quad (2.1)$$

где,  $V$  – удельный объем, м<sup>3</sup>/кг;  $u$  – удельная внутренняя энергия, Дж/кг,  $P$  – давление, Па.

Так как абсолютная величина энтальпии для материального потока не может быть определена, на практике используется ее изменение

относительно некоего уровня. Зачастую за этот уровень принимается энтальпия образования вещества в нормальных условиях.

Для термического анализа ректификационных установок удобно использовать понятие теплосодержания  $i'$ , Дж/кг. Это то количество тепла, которое выделяется, когда один килограмм вещества возвращается к нормальным условиям [17].

Если фазовый переход или химическое превращение вещества отсутствуют, изменение теплосодержания связано лишь с изменением температуры:

$$i' = \bar{C}_p * t, \quad (2.2)$$

где  $\bar{C}_p$  - удельная теплоемкость при усредненной температуре, Дж / кг · К .

Формула (2.1) может быть использована только в том случае, когда вещество не изменяет своего фазового состояния. Тем не менее, большинство процессов, связанных с изменением агрегатного состояния вещества, сопровождаются тепловыми эффектами. Если изменение температуры сопровождается фазовым переходом, то теплота фазового перехода также должна быть включена в значение теплосодержания. Такие процессы включают в себя процессы конденсации, испарения, растворения, плавления.

В процессе ректификации подавляющее количество тепла расходуется на испарение. Теплотой парообразования ( $r$ , Дж / кг) определяется то количество тепла, которое должно быть израсходовано для превращения единицы массы жидкости в состояние пара при данной температуре. Теплота парообразования большинства веществ определена опытным путем и содержится в справочниках. Однако в некоторых случаях ее рассчитывают.

Термический анализ выполняется составлением теплового баланса. Закон сохранения энергии является основой теплового баланса. Следствием из закона сохранения энергии является первый закон термодинамики. Согласно первому закону, количество тепла переданного системе  $dQ$ ,

расходуется на совершение работы ( $A$ ) и изменение внутренней энергии  $dU$  [17].

В ректификационных установках считается, что работа, выполняемая системой, равна нулю. Помимо этого, ректификация обычно проводится в стационарных условиях, при неизменной внутренней энергии системы ( $dU = 0$ ). В данном случае тепло, поступающее в систему, должно равняться количеству тепла покидающего систему [17].

Тепловые балансы составляются для индивидуальных аппаратов, узлов и всей установки в целом. В этом случае внутренняя структура системы не рассматривается, а учитываются только входящие и исходящие тепловые потоки.

На проектной стадии тепловой анализ рассчитывается с целью определения тепловых нагрузок на отдельные аппараты. Тепловые нагрузки определяются на основе потребностей конкретного процесса в подаче или отводе тепла. По тепловым нагрузкам рассчитываются расходы теплоносителей и габариты оборудования.

Тепловой баланс простой ректификационной колонны рассчитывается следующим образом [17]:

$$F \cdot i'_F + Q_K = D \cdot i'_D + W \cdot i'_W + D(R+1) \cdot r_D + Q_{\Pi} , \quad (2.3)$$

где  $F \cdot i'_F$  - тепло, приходящее с питанием колонны, Дж/с;  $D \cdot i'_D$  и  $W \cdot i'_W$  - тепло, уходящее из колонны с дистиллятом и кубовым остатком, Дж/с;  $Q_K$  – тепло, подводимое к испарителю колонны, Дж/с;  $D(R+1) \cdot r_D$  - тепло, отводимое в конденсаторе колонны с охлаждающей водой, Дж/с;  $Q_{\Pi}$  – тепловые потери, Дж/с.

### 2.5.2 Эксергетический анализ

При тепловом анализе энергетические потоки рассматриваются только в отношении количества тепла. Также не учитывается температурный уровень потоков, определяющий направление и интенсивность

теплопередачи. По температурному уровню теплового потока можно также судить о его качестве.

Так как реальный процесс теплопередачи необратим, в процессе теплопередачи снижается температурный уровень и качество тепла. Приняв это изменение во внимание можно более объективно определить эффективность использования тепла в ХТС.

Оценка изменения качества тепла проводится посредством эксергетического анализа. Данный вид анализа широко используется при проектном анализе систем, в которых тепловая энергия помимо передачи между теплоносителями, также трансформируется в другие виды энергии [18].

Эксергетический анализ используется для оценки изменения качества тепла. Он нашел широкое применение в проектировании и анализе систем, где тепловая энергия не только передается от одного хладагента к другому, но также переходит к другим типам [19]. Именно способность тепла переходить в другие виды энергии является критерием качества теплового потока при эксергетическом анализе.

В основе эксергетического анализа лежит второй закон термодинамики, в соответствии с которым реальные процессы идут по пути увеличения энтропии системы ( $\Delta S > 0$ ). Равновесное состояние является пределом роста энтропии [20].

Следя из второго закона, тепло  $Q$  и внутренняя энергия  $U$  лишь частично переходят в работу  $A$ . Но работа может быть полностью без остатка превращена в тепло.

В зависимости от характера превращения, в эксергетическом анализе выделяется три вида энергий [19]:

1. Неограниченно превращаемые, которые могут быть без остатка преобразованы в другие виды энергии (электрическая, кинетическая, потенциальная энергии, механическая работа);

2. Ограниченно превращаемые, которые не могут быть трансформированы в неограниченно превращаемую (тепловая, внутренняя энергия), даже в идеальных обратимых процессах;

3. Непреобразуемые, которые не могут быть самопроизвольно преобразованы в другие виды энергии (работа преодоления атмосферного давления, внутренняя энергия системы в равновесии с окружающей средой).

Энергетический поток условно разделяется на две части: эксергия и анергия. Эксергия это та часть энергии, которая может быть полностью превращена в другие виды энергий. Анергия это та часть энергии, которая, не может быть преобразована по второму закону термодинамики [19].

Неограниченно превращаемые виды энергий не содержат анергию, они являются потоком чистой эксергии. Непреобразуемая энергия состоит только из анергии и не может быть преобразована в другие формы [19].

Суммарно эксергия и анергия составляют тепловую энергию. С ростом температуры потока в нем увеличивается эксергия. Ценность теплового потока определяется содержанием в нем эксергии. В реальных процессах эксергия необратимо превращается в анергию. Исходя из этого, совершенство систем определяется эффективностью использования эксергии [17].

### **2.5.3 Расчет химической составляющей эксергии в процессе фракционирования нефти**

Молекулярный состав нефти и ее фракций чрезвычайно разнообразен и зачастую неизвестен. В связи с этим роль вещества отсчета играет гипотетическое вещество - псевдокомпонент (фракция нефти).

**Химическая эксергия потока** рассчитывается следующим образом:

$$ex_x = l_{обp}^{жс} + l_{обp}^n + l_{обp}^u, \quad (2.4)$$

где,  $l_{обр}^{ж}$  - работа обратимого перевода вещества из жидкости в пар;  $l_{обр}^n$  - работа обратимого перевода пара в идеальное состояние;  $l_{обр}^u$  - работа обратимого разделения идеальной газовой смеси.

Работа обратимого перевода вещества из жидкости в пар рассчитывается:

$$l_{обр}^{ж} = q_n \frac{T_{к} - T_0}{T_{к}} \quad (2.5)$$

где,  $q_n$  – теплота испарения,  $кДж / моль$ ,  $T_{к}$  – средняя температура кипения фракции.

$$q_n = T_{ср} (36,63 + 19,13 \lg T_{ср}) \quad (2.6)$$

Чтобы рассчитать вторую составляющую в уравнении химической эксергии, следует рассмотреть гипотетический процесс обратимого изотермического расширения реальных паров фракции нефти в расширяющей машине. Процесс перевода реальных паров в идеальное состояние сопровождается изменением энергии вследствие разрыва связей в молекулах. При условии, что процесс является обратимым, то изменение энергии равнозначно максимальной работе процесса.

Предполагая, что работа процесса с определенной точностью равна работе, которая реально затрачена на изотермическое расширение паров до определенного остаточного давления согласно характеристикам машины, вторая составляющая химической эксергии рассчитывается (пренебрегая изменениями энтальпии):

$$l_{обр}^n = \frac{1}{\eta_u} \frac{Z_0}{Z_u} RT_0 \ln \frac{P_0}{P_u}, \quad (2.7)$$

где  $\eta_u$  – КПД процесса изотермического расширения (принимается равным 0,7);  $Z_0$  и  $Z_u$  – коэффициенты сжимаемости при  $P_0 = 0,1 МПа$ ,  $T_0 = 298K$  и  $P_u = 0,01 МПа$ ,  $T_0 = 298K$  соответственно;  $P_u$  – конечное давление,

определяемое характеристиками расширительной машины (принято  $P_u = 0,01$  МПа).

Третья составляющая рассчитывается:

$$l_{обр}^u = -RT_0 \sum x_i \ln x_i \quad (2.8)$$

где,  $x_i$  – мольная доля фракции.

$l_{обр}^u$  рассчитывается только для смеси фракции.

В конечном итоге химическая эксергия рассчитывается:

$$ex_x = q_n \frac{T_k - T_0}{T_k} + \frac{1}{\eta_{ид}} \frac{Z_0}{Z_{ид}} RT_0 \ln \frac{P_0}{P_{ид}} - RT_0 \sum x_i \ln x_i \quad (2.9)$$

#### 2.5.4 Расчет физической составляющей эксергии в процессе фракционирования нефти

Обычно физическая эксергия  $ex_\phi$  представляется как сумма изобарной  $ex_p$  (термической) и изотермической  $ex_T$  (механической) эксергий:

$$ex_\phi = ex_p + ex_T \quad (2.10)$$

$$ex_T = \int_{T_0}^T \frac{T - T_0}{T} dh(T) = \int_{T_0}^T \tau_e dh(T), \quad (2.11)$$

где  $\tau_e$  – эксергетическая температурная функция, равная КПД Карно,  $h(T)$  – зависимость энтальпии от температуры.

$$dh = C_p dT \quad (2.12)$$

Изотермическая составляющая:

$$ex_T = \frac{(T - T_0)^2}{T} C_p \quad (2.13)$$

Изобарная составляющая имеет вид:

$$ex_p = RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (2.14)$$

### 2.5.5 Термoeкономический анализ

Говоря об эксергетическом анализе, мы оперируем лишь затратами эксергии. Эксергетические потери на ректификационных установках приводят к увеличенным расходам греющего пара, и затратам электроэнергии на работу насосного оборудования. В общем главной задачей эксергетического анализа является повышение эксергетического КПД ректификационной установки и уменьшение эксергетических потерь. Впрочем, увеличение термодинамической эффективности установки необратимо влечет за собой увеличение капитальных вложений.

Окончательно оценить эффективность работы установки позволяет технико-экономический анализ, включающий все типы затрат. Направление технико-экономических исследований, базирующееся на эксергетическом анализе процессов и систем, получило название термoeкономики [21].

В термoeкономическом анализе товаром является эксергия, следовательно все затраты сводятся на поток эксергии.

В процессе проведения термoeкономического анализа, определяется стоимостной показатель каждого эксергетического потока: общая и удельная стоимость эксергии [22].

Стоимость отдельного потока эксергии определяется на основе стоимости энергии [21]. Так, удельная стоимость эксергии теплового потока определяется по уравнению:

$$C_E = \frac{Q \cdot C_Q}{E_Q}, \quad (2.15)$$

где  $C_Q$  и  $C_E$  - стоимости одной единицы тепловой энергии и эксергии;  $Q$  и  $E_Q$  - величина теплового потока и эксергия.

Зачастую на ректификационных установках главным потоком эксергии является поток водяного пара, направляемого на нагрев испарителей (ребойлеров). В данном случае стоимость эксергии этого потока зависит целиком от стоимости теплоты пара.

Стоимость потоков эксергии, покидающих систему определяются исходя из стоимости их образования. Затраты делятся на энергетические и не энергетические [23].

Энергетические затраты ( $Z_3$ ) определяются величиной затрат на все потоки эксергии, входящих в систему, и потерями эксергии внутри системы. В связи с этим  $Z_3$  зависят от термодинамической эффективности функционирования системы.

Неэнергетические затраты ( $K$ ) являются отчислениями из капитальных вложений [22]. Обычно следствием увеличения неэнергетических затрат является уменьшение потерь эксергии. В связи с этим величина  $K$  определяет целесообразно ли увеличивать термодинамическую эффективность установки.

Основой анализа химико-технологических систем являются уравнения балансов затрат системы в целом и отдельных ее участков [21]. Термoeкономический баланс простой ректификационной колонны имеет вид:

$$C_{ПИТ}E_{ПИТ} + C_{ПАРА}E_{ПАРА} + K = C_{КУБ}E_{КУБ} + C_{ДИС}E_{ДИС} + C_{КОН}E_{КОН} , \quad (2.16)$$

где  $C_{КОН}, C_{ДИС}, C_{КУБ}, C_{ПИТ}, C_{ПАРА}$  - удельные стоимости потоков эксергии теплоты конденсации пара верха колонны, дистиллята, куба, питания, греющего пара соответственно;  $E_{КОН}, E_{ДИС}, E_{КУБ}, E_{ПИТ}, E_{ПАРА}$  - потоки эксергии теплоты конденсации пара верха колонны, дистиллята, куба, питания, греющего пара соответственно.

В конечном итоге увеличение потерь эксергии повлечет удорожание единицы эксергии на выходе [23].

Подвод эксергии греющего пара к кубовой жидкости ректификационной колонны осуществляет испаритель. Из-за перепада

температур в испарителе теряется часть эксергии. Стоимость ребойлера и потери эксергии являются причиной повышения удельной стоимости эксергии, подводимой кубовой жидкости.

Зачастую, в системах, подобных ректификационным колоннам, технологически трудно выделить ключевой поток эксергии, на который можно перенести затраты системы. В термозкономическом анализе используется ряд методов, базирующихся на таком понятии как «целевой поток», позволяющих распределить затраты между выходящими потоками эксергии [22]:

- Метод выделения. Из всех потоков, выходящих из системы выделяется один «целевой». Целевым потоком может быть как главный продукт работы системы, так и поток, который в большей степени характеризует термодинамическую эффективность функционирования оборудования. Теперь все затраты системы переносят на выделенный поток эксергии. Удельная стоимость остальных потоков эксергии является константой, не зависящей от затрат системы.
- Уравнительный метод. Данный метод используется в случае, когда трудно выделить «целевой» поток. Удельная стоимость эксергий выходящих потоков уравнивается и затраты распределяются пропорционально [23].
- Метод побочного продукта. Способ используется в случаях, когда при усовершенствовании систем, комбинируется ее работа, получая побочные потоки эксергии [23]. Стоимость выходящих потоков сравнивается с неким эталонным процессом, не содержащим в себе комбинированные схемы. После усовершенствования системы и получения новых потоков эксергии, экономия переносится на стоимость дополнительных потоков.

## **2.6 Многокритериальная оптимизация**

Основными факторами, определяющими особенности и пути повышения эффективности переработки углеводородного сырья в процессах нефтепереработки, является многокомпонентность сырья и продуктов реакций, а также нестационарность активности катализатора.

Поставленные задачи невозможно осуществить без широкого внедрения в практику исследовательской и проектно-конструкторской работы методов и средств оптимизации технологических решений.

Основополагающими работами, оказавшими существенное влияние на развитие и реализацию идей оптимизации реакторных систем, явились исследования академика В.В. Кафарова, В.П. Мешалкина, Н.М.Островского, А.В. Кравцова и Э.Д. Иванчиной и др., представителей их научных школ, а также зарубежных специалистов [24].

Именно решение оптимизационной задачи по комплексному критерию, учитывающему технологические и экономические факторы, может обеспечить более полное сравнение генерируемых альтернатив организации ХТС за ограниченное время.

Вне зависимости от достоинств и недостатков методов и схем компромиссов можно выделить общий положительный эффект, возникающий при применении многокритериального подхода и анализу альтернатив технологических схем. Он заключается в усилении объективной оценки по совокупности критериев качества. Но достигнутые успехи в синтезе тепловых систем показали, что алгоритмы являются успешными в том случае, если они основаны на учете физико-химической и технологической специфики конкретной задачи.

### **2.6.1 Математическая модель многокритериальной оптимизации**

В области многокритериальной оптимизации (МКО) решаются задачи, которые требуют принятия решения сразу по нескольким критериям.

В данном случае задача МКО формируется следующим образом: необходимо найти числа  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , которые удовлетворяют системе ограничений

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2.17)$$

для которых функции:

$$z_k = f_k(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (2.18)$$

достигают максимального значения.

Множество точек  $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , удовлетворяющих системе (2.17), образует *область допущений*  $D \subset R^n$ . Элементы, входящие во множество  $D$  являются *допустимыми решениями*, или иначе *альтернативными*, а числовые функции  $f_k, k = 1, 2, \dots, K$  – *критериями*, или *целевыми функциями*, задаваемыми на множестве  $D$ . В формулировке задачи (2.17,2.18) присутствует  $K$  количество целевых функций. Данные функции отображают множество  $D \subset R^n$  в множество  $F \subset R^K$ , которое называется *множеством достижимости* [25].

Математическую модель МКО (2.17-2.18) в векторной форме:

$$\vec{f}(X) = (f_1(X), \dots, f_K(X)) \rightarrow \max \text{ при } X \in D, \quad (2.19)$$

где  $\vec{f}(X)$  – вектор-функция аргумента  $X \in D$ .

Отличительной особенностью оптимизации задач с одним критерием от многокритериальных является неопределенность целей. В самом деле, решение, удовлетворяющее нескольким целевым функциям, является редким случаем. По этой причине, с математической точки зрения, задачи МКО оказываются неопределенными, а их решением может быть только компромиссное решение.

В силу этого, в теории МКО понятие оптимальности обретает различные толкование. В самой теории имеется три основных направления:

1. Создание концепции оптимальности.
2. Доказательство существования оптимального решения.
3. Разработка способов поиска оптимального решения.

## 2.6.2 Симплексный метод планирования и оптимизации

В практической части ВКР мной был применен симплексный метод планирования для оптимизации данных, полученных с помощью САПР NYSYS. Симплексный метод является одним из методов планирования эксперимента на основе активного эксперимента, но он также позволяет проводить оптимизацию.

Симплексом именуется правильный многогранник, обладающий  $n+1$  вершиной, где  $n$  – количество факторов, которые оказывают влияние на процесс.

Так, если  $n=1$ , то симплексом - отрезок прямой, при  $n=2$  – правильный треугольник, при  $n=3$  – тетраэдр и т.д.

Методика последовательного симплекс планирования следующая. Начиная восхождение по поверхности отклика, исходная серия опытов планируется так, чтобы точки, соответствующие условиям проведения опытов, образовывали правильный симплекс в многомерном факторном пространстве [25].

Условия проведения начальной серии опытов соответствуют вершинам исходного симплекса (точки 1,2,3, рис. 2.10).

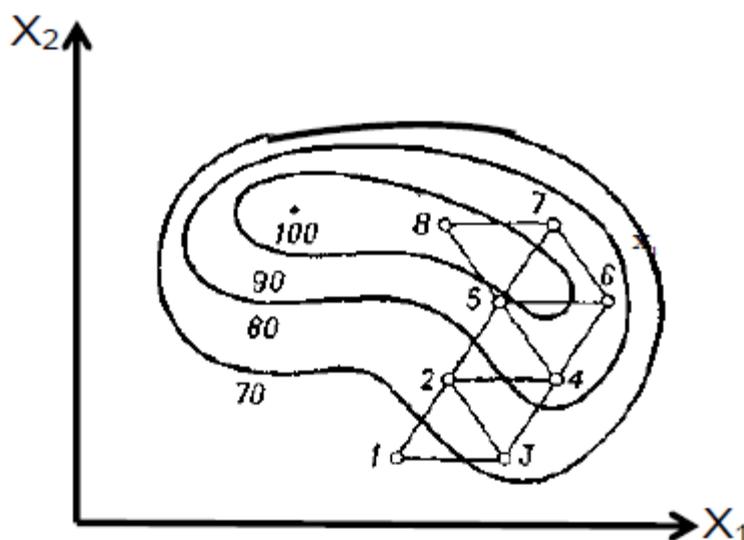


Рисунок 2.7 - Схема движения к оптимуму

Условия в первых опытах подбираются из значений факторов, соответствующих наиболее благоприятным для технологического процесса.

Проводится первая серия опытов (точки 1,2,3), после чего выявляется точка (опыт), давшая худший результат (сравнивая значения выходного параметра в точках 1,2,3).

На рис.2.10 эта точка 1. Эта «плохая» точка заменяется новой (т.4), представляющую собой зеркальное отображение относительно грани симплекса сформированной точками 2 и 3. Далее проводится эксперимент в новой точке 4. Проводится сравнение между собой результатов опытов в вершинах нового симплекса (2,3,4), вновь отбрасывается самая «неудачная» точка и вершина симплекса (т. 3) переносится в т. 5. Получается новый симплекс (2-4-5) и т.д. Данная процедура итерационно повторяется, пока не будет достигнут оптимум.

Вершины исходного симплекса (условия опытов) задаются при помощи специальной таблицы (табл. 2.11).

<i>N</i>	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
1	0.5	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109
2	-0.5	0.289	0.204	0.158	0.129	0.109
3	0	-0.578	0.204	0.158	0.129	0.109
4	0	0	-0.612	0.158	0.129	0.109
5	0	0	0	-0.632	0.129	0.109
6	0	0	0	0	-0.645	0.109
7	0	0	0	0	0	-0.654

Таблица 2.3 - Кодированная матрица опытов исходного симплекса.

Условия проведения каждого нового опыта в отраженной точке рассчитываются следующим образом:

$$x_i^{n+2} = 2x_i^c - x_i^*, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.20)$$

, где  $x_i^*$  - значение  $i$ -го фактора в худшей точке предыдущего симплекса;

$x_i^c$  - координаты центра нового симплекса, находятся:

$$x_i^c = \frac{\sum_{j=1}^{n+1} x_{ij}}{n} \quad (2.21)$$

### **Построение матрицы исходного симплекса.**

Перед началом движения по поверхности отклика нужно определить условия проводимых опытов в начальном симплексе. Вычисления значений факторов в первых испытаниях используется закодированная матрица опытов стартового симплекса.

Приступая к оптимизации, с помощью таблицы рассчитывается матрица исходных опытов в натуральных единицах по формулам:

$$X_i = \frac{x_i - x_i^0}{\Delta x_i}; \quad (2.22)$$

$$x_i = x_i^0 + \Delta x_i X_i; \quad (2.23)$$

где  $X_i$  - кодированные значение таблицы.

В процессе шагового восхождения по поверхности отклика возможно следующее:

1. Некоторая отраженная наихудшая точка симплекса, в новом симплексе также оказывается наихудшей. В данном случае необходимо вернуться в предыдущий симплекс и совершать движение из него, отбросив вторую наихудшую точку.

2. Симплекс совершает вращение вокруг некоторой точки, соответствующей наибольшему значению критерия оптимизации. После проведения  $n+1$  опыта движение прекращается и повторяется точка (опыт) вокруг которой происходит вращение. В случае подтверждения значения в этой точке, можно судить о том, что достигнут оптимум.

Необходимо заметить, что симплексный метод является локальным методом поиска экстремума. Нет необходимости дублировать опыты, используя симплекс-метод, поскольку ошибка в отдельном опыте способна замедлить оптимизацию [25].

### **3. Экспериментальная часть**

#### **3.1 Постановка задачи**

Энергосбережение наряду с поиском оптимальных режимов эксплуатации установок фракционирования является ключом к эффективной работе производства, включающей в себя высокие показатели качества выпускаемой продукции и, что немаловажно, стабильную растущую прибыль.

Достижение упомянутого энергосбережения возможно как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации установки посредством подбора оптимальных параметров. Решить данную проблему можно разными путями. Одним из таких путей является использование интегрированных схем фракционирования нефти снабженных рекуперативным теплообменом, позволяющим эффективно использовать тепло технологических потоков.

Также возможно оптимизировать энергопотребление установки, используя системы автоматизированного проектирования САПР с методиками планирования экспериментов, позволяющие подобрать совершенные параметры ведения процесса, сохраняя требуемое качество продукта и исключая дополнительные капиталовложения.

Оценить степень термодинамического совершенства системы, пригодность использования определенных энергетических потоков, а также локализовать места потерь энергии позволяет метод эксергетического анализа.

Цели данной работы:

1. На основе исходных данных в САПР HYSYS построить две модели фракционирования нефти:

а) Стандартная двухколонная схема, снабженная тепловой рекуперацией, состоящая из колонны отбензинивания и основной атмосферной колонны. Продуктами схемы являются бензин, дизель и мазут.

б) Схема фракционирования нефти Петлюка интегрированная по материальным и тепловым потокам снабженная рекуперацией продуктовых потоков. Продуктами схемы также являются бензин, дизель и мазут.

2. Выявить наиболее энергоэффективную схему посредством эксергетического анализа.

3. Выполнить оптимизацию технологических параметров наиболее энергоэффективной схемы.

## **3.2 Моделирование схем фракционирования**

### **Исходные данные**

Расчет моделей схем фракционирования проводился с использованием универсальной системы моделирования HYSYS на основе данных представленных в таб. 3.1, 3.2. Принципы построения моделей в данной системе, а также ее отличительные особенности изложены в соответствующей главе. Исходным сырьем послужила нефть 2 группы 2 подгруппы.

Таблица 3.1 – Составы нефти

	тяжелая нефть		средняя нефть		легкая нефть	
	I ГРУППА		II ГРУППА		III ГРУППА	
подгруппа	I.1	I.2	II.1	II.2	III.1	III.2
T, °C	% об. выкипания					
нк	49,8	49,4	49,4	49,8	49	48,6
80	3,3	5	4,3	6	4,3	6,7
90	5	7	6	8	6,3	8,3
100	6,7	9	7,7	9,7	8,3	10,3
110	8,7	11	10	11,7	10	12,3
120	10,3	13	12	13,7	12	14,3
130	11,7	15	14	15,7	14	16,3
140	13,7	16,7	16	18	16,7	18,3
150	15,3	18	18,3	20	19	20,3
160	18	20,3	20,1	22,1	21,1	22,6
170	19,7	22	22	23,3	23,3	24,3
180	21,7	24	24	25,3	25,3	26,3
190	23,7	25,7	26	27	27	28
200	25,7	27,7	28	28,7	29,3	30
210	27,7	29,7	30	30,3	31,3	32
220	29,3	31,3	32,3	32,3	33,3	34
230	31,3	33,3	34,3	34,3	35,3	36
240	33,3	35	36	36,3	37,3	38
250	35,3	36,7	38	38,3	39	39,7
260	37,3	38,7	40	40,3	41	41,7
270	39,3	40,3	41,7	42,3	43	43,7
280	41,3	42	42,7	44	44,7	45,7
290	43,3	44	44,3	45,7	46,7	47,7
300	44,7	45,7	46,3	48	49	49,7
310	46,7	47,7	48,3	50	51	51,7
320	48,3	49,7	50,3	52	53	53,7
330	50	51,7	52,3	54	55	55,7
340	52	53,7	54,7	56	57	57,7
350	54,3	56	57,3	58,3	59	60,3
360	59,8	60,7	62,8	62,5	64,8	64,4
Плотность при T=20,0°C, кг/м <sup>3</sup>	855,6	852	851,1	849,6	847,6	845,3
Плотность при T=15,0°C, кг/м <sup>3</sup>	859,1	855,6	854,7	853,2	851,1	848,9
Плотность воды при 15, кг/м <sup>3</sup>	999,1					
Расход нефти, т/час	18,5					
Относит плотность (15C)	0,8599	0,8564	0,8554	0,854	0,8519	0,8497

Таблица 3.2 – Требования к дистилляту

Тн.к., °C	не нормируется
T 10%, °C	не выше 65
T 50%, °C	не выше 110
T 90%, °C	не выше 180
Тк.к., °C	не выше 215

### 3.2.1 Моделирование схемы фракционирования без интеграции

#### ПОТОКОВ

Известные величины вводятся 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.

Изначально были выполнены приближенные расчеты, опираясь на которые впоследствии был смоделирован блок колонн.

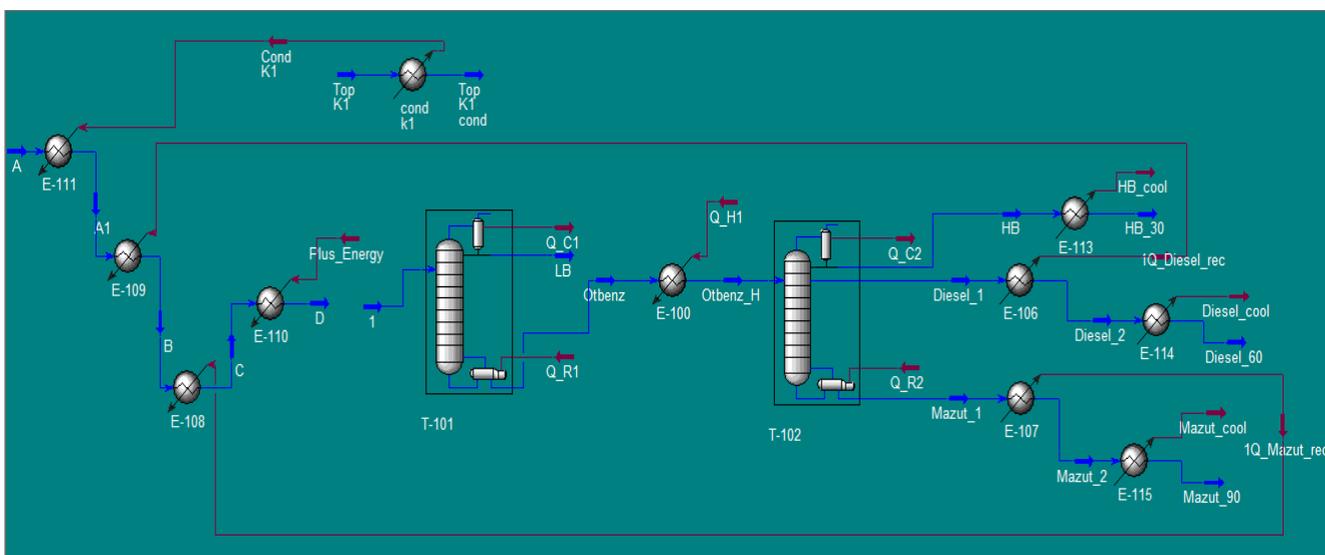


Рисунок 3.1 – Блок колонн, дополненный рекуперацией тепла материальных потоков (среда моделирования)

Заглянув в соответствующие области программы можно получить исчерпывающие данные по устройствам колонн:

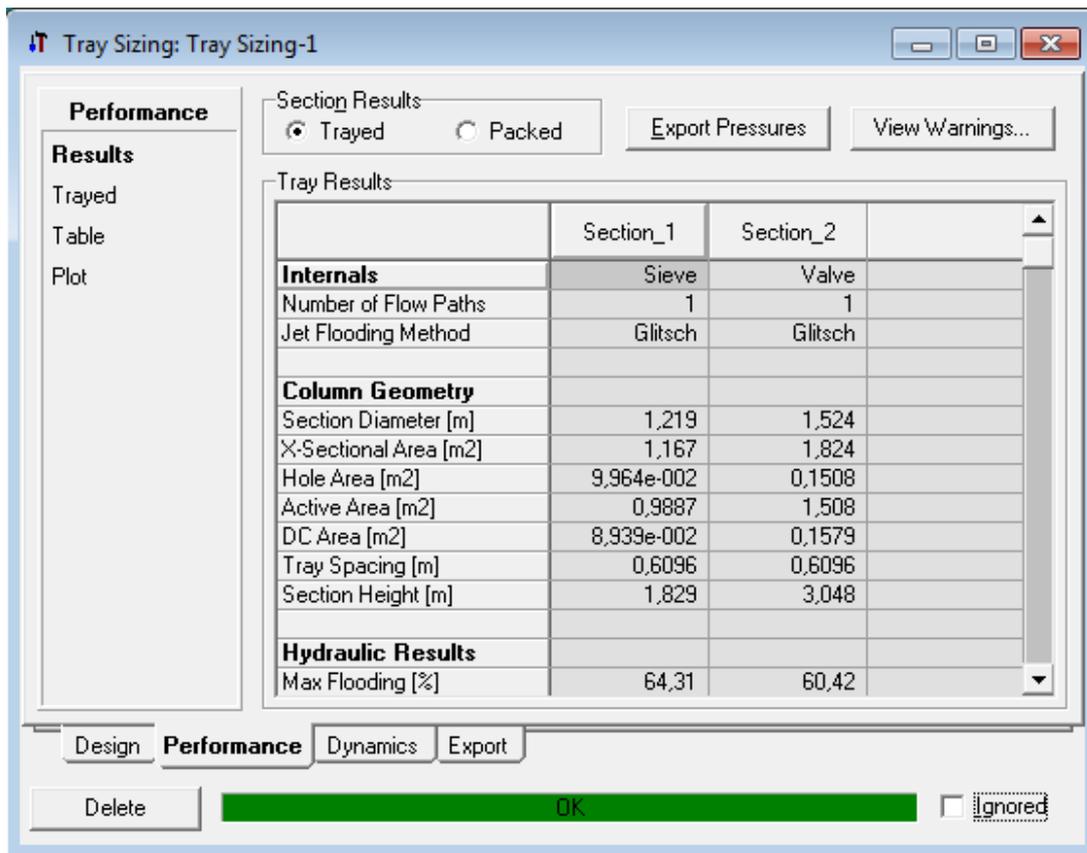


Рисунок 3.2 – Данные по тарелкам колонны отбензинивания

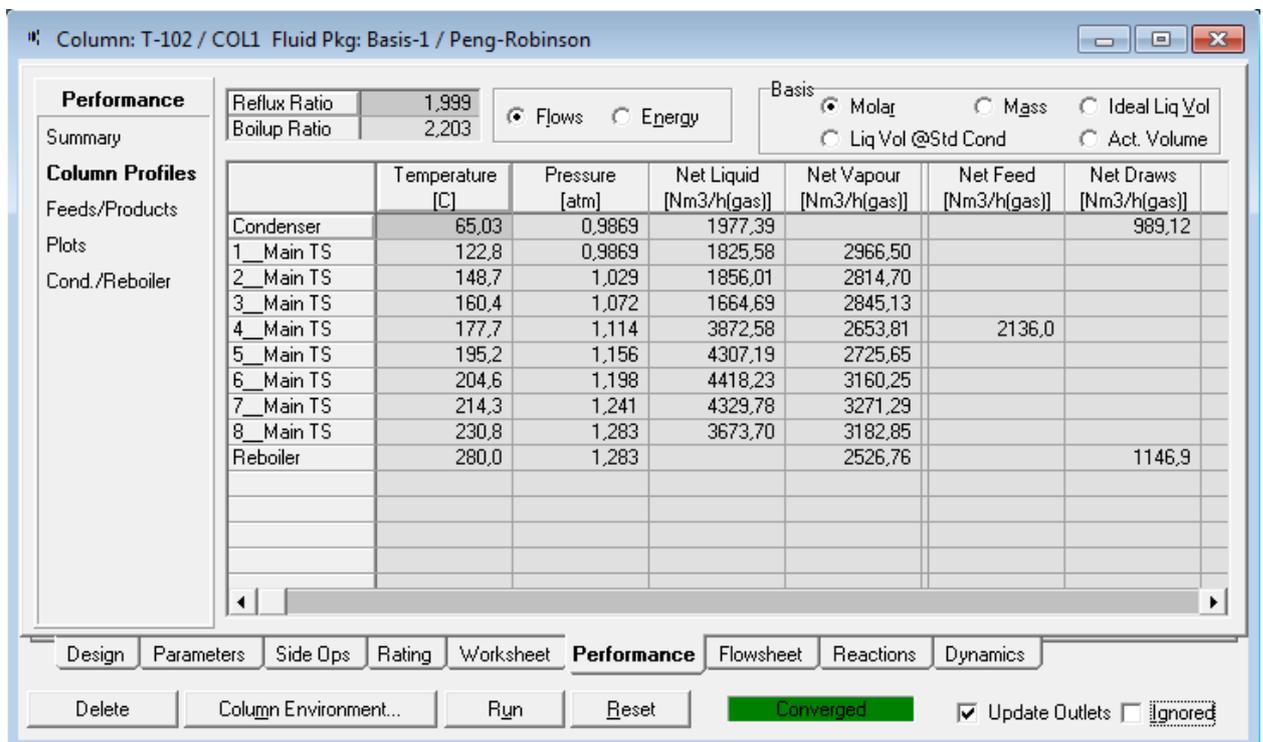


Рисунок 3.3 – Данные по колонне отбензинивания

Необходимо удостовериться, что качество дистиллята удовлетворяет требованиям, предъявленным в таб. 3.2:

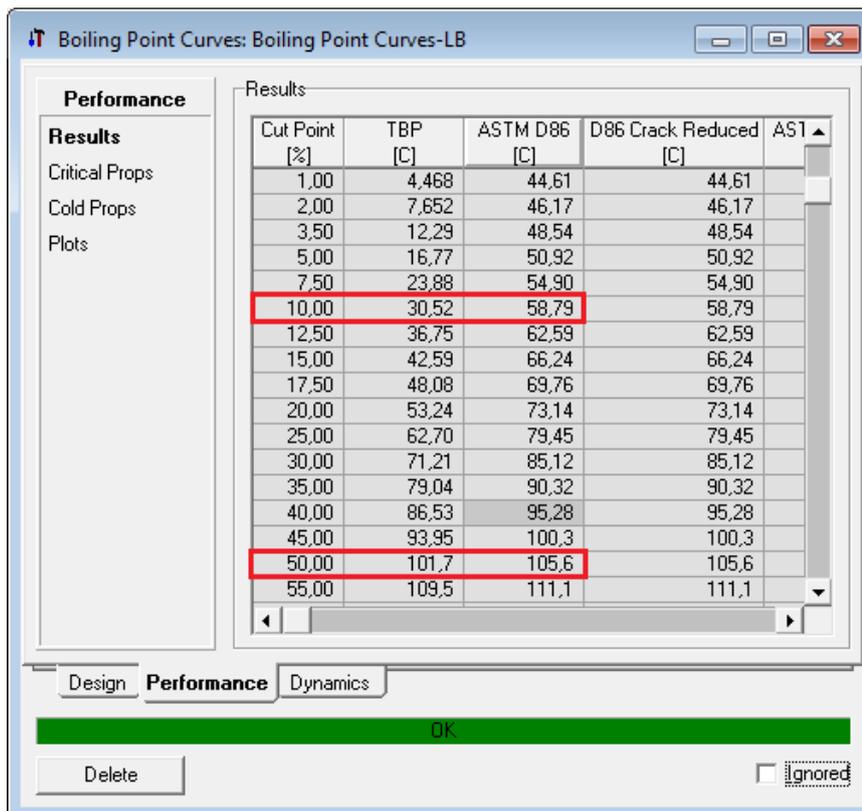


Рисунок 3.4 – Данные кривой разгонки дистиллята

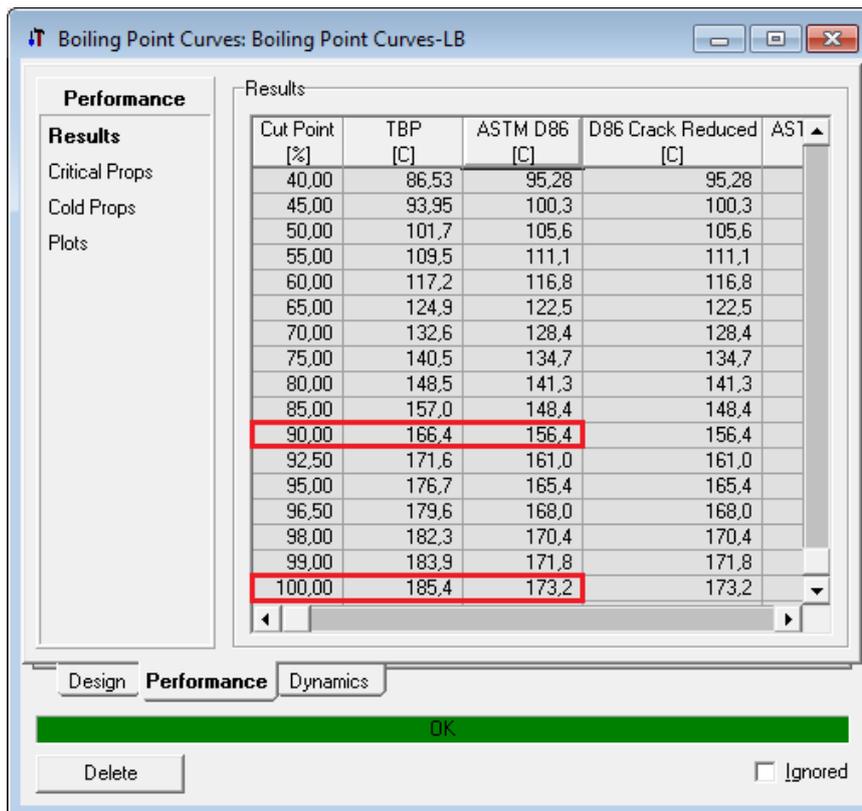


Рисунок 3.5 – Данные кривой разгонки дистиллята (продолжение)

Данные разгонки свидетельствуют о том, что колонна удовлетворяет предъявленным требованиям к дистилляту.

## Расчет модели основной атмосферной колонны

Опираясь на данные приближенных расчетов, рассчитана основная атмосферная колонна. Полученные данные показаны на рисунках 3.6, 3.7.

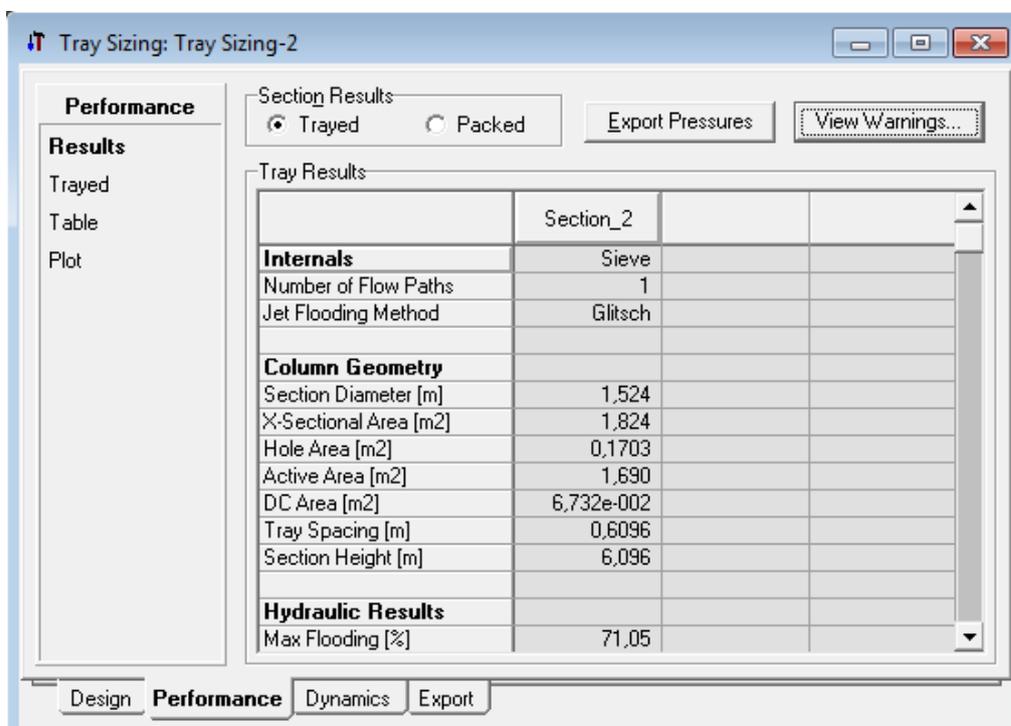


Рисунок 3.6 – Данные по тарелкам основной колонны

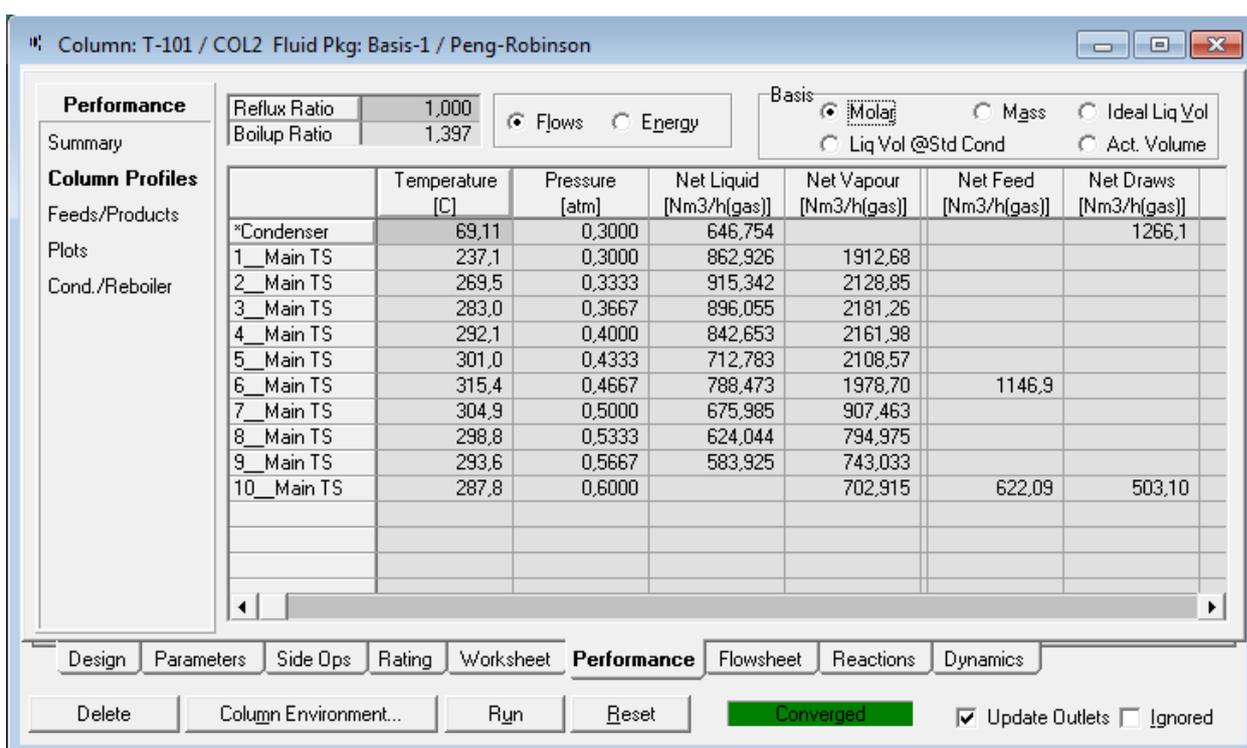


Рисунок 3.7 – Данные по основной колонне

Параметры колонн:

1. Отбензинивания (2 секции).

Количество тарелок и тип тарелок – 4 ситчатые, 5 клапанных

Высота – 1 секция 2 м, 2 секция 3 м

Диаметр – 1 секция 1300 мм, 2 секция 1600 мм

Флегмовое число – 2

Межтарельчатое расстояние – 600 мм

2. Основная атмосферная (1 секция)

Количество тарелок и тип тарелок – 10 ситчатых

Высота – 6 м

Диаметр – 1600 мм

Флегмовое число – 1

Межтарельчатое расстояние – 600 мм

### **3.2.2 Моделирование схемы фракционирования с интеграцией потоков (Схема Петлюка)**

Схема Петлюка считается **полностью интегрированной по тепловым и материальным потокам**, в ней не требуется подвод/отвод теплоты в префракционаторе, где происходит полное разделение БФ и остатка, в то время как ДФ распределяется между ними и затем отделяется в средней части колонны. Реализован принцип **распределенной ректификации**.

Схема Петлюка и колонны с разделяющей стенкой позволяют снизить и капитальные и эксплуатационные затраты (экономия энергии до 40%). Недостаток – сложность управления и регулирования, т.к. нет ни возможности регулировать поток флегмы, ни управлять паровым потоком.

Подробнее распределенная ректификация и варианты ее организации рассмотрены в главе 1.3 данной диссертации.

### 3.2.3 Описание технологии (Схема Петлюка)

Установка представляет собой префракционер и основную ректификационную колонну, соединенные материальными потоками. В схеме отсутствуют дефлегматор и ребойлер, работающие на первую колонну. Это является главной особенностью схемы.

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

Верхом основной колонны уходят пары бензиновой фракции, которые конденсируются в дефлегматоре и поступают 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.

Подобно модели блока колонн без интеграции потоков, пройдя соответствующие этапы, была смоделирована ректификация по схеме Петлюка.

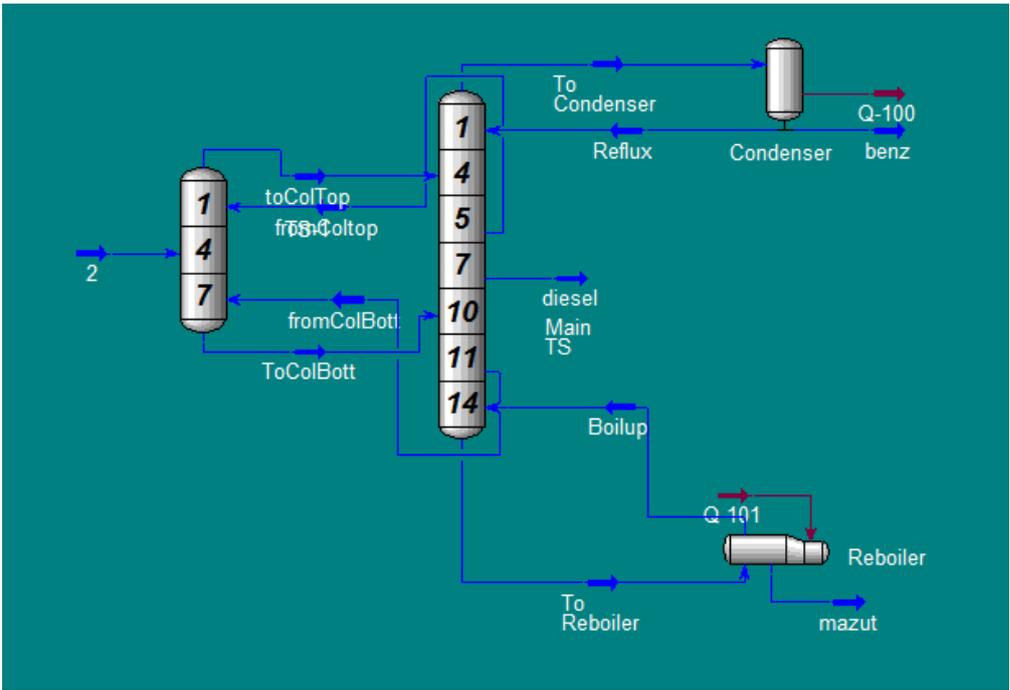


Рисунок 3.7 - Схема Петлюка (среда колонны)

Column: T-103 / COL3 Fluid Pkg: Basis-1 / Peng-Robinson

Reflux Ratio: 3,000  
Boilup Ratio: 3,676

Basis:  Molar  Liq Vol

Flows  Energy

	Temperature [C]	Pressure [atm]	Net Liquid [Nm3/h(gas)]	Net Vapour [Nm3/h(gas)]
Condenser	42,58	0,5000	3189,65	
1__Main TS	113,0	0,5000	2872,76	4252,87
2__Main TS	146,2	0,5385	2938,69	3935,97
3__Main TS	162,4	0,5769	2715,58	4001,91
4__Main TS	180,1	0,6154	2103,08	3778,80
5__Main TS	192,7	0,6538	1264,05	680,600
6__Main TS	206,1	0,6923	1209,41	820,894
7__Main TS	231,5	0,7308	452,853	766,249
8__Main TS	295,5	0,7692	431,161	543,257
9__Main TS	331,0	0,8077	461,243	521,564
10__Main TS	350,1	0,8462	9577,84	551,647
11__Main TS	354,0	0,8846	2636,00	1804,55
12__Main TS	362,6	0,9231	2668,25	2105,13
13__Main TS	371,6	0,9615	2644,11	2137,38
14__Main TS	383,0	1,000	2482,22	2113,24
Reboiler	402,0	1,000		1951,34
1__TS-1	220,0	0,6538	634,178	
2__TS-1	246,8	0,6538	551,953	2140,55
3__TS-1	260,8	0,6538	420,154	2058,33
4__TS-1	275,6	0,6538	1202,76	1926,53
5__TS-1	321,4	0,6538	1793,19	581,487
6__TS-1	333,4	0,6538	1951,00	1171,92
7__TS-1	340,5	0,6538		1329,72

Design Parameters Side Ops Rating Worksheet Performance Flowsheet Reactions

Рисунок 3.8 – Данные по основной колонне и префракционатору

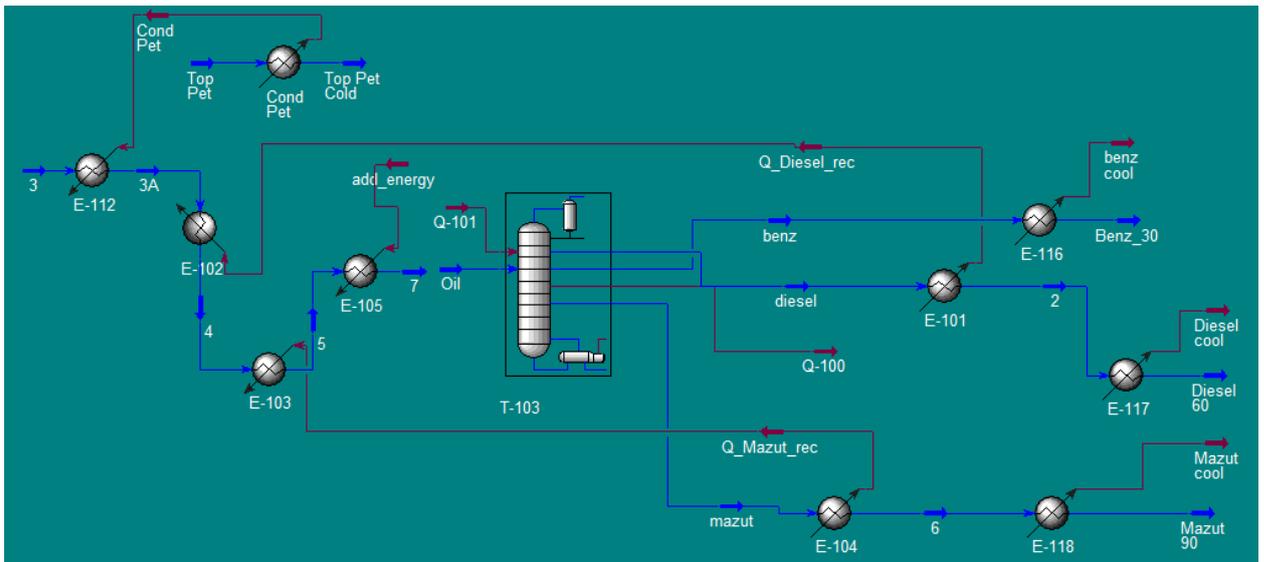


Рисунок 3.9 – Схема Петлюка дополненная, рекуперацией тепла материальных потоков (среда моделирования)

### 3.3 Эксергетический анализ схем фракционирования нефти

Эксергетический анализ вышеописанных схем проводился по методикам и формулам, описанным в главах 2.2.3 и 2.2.4 диссертации. Все необходимые для расчетов значения были взяты из построенных моделей. Значения тех или иных величин на каждом этапе расчетов химических и физических эксергий представлены в приложении Б. Вычисления проводились с помощью программного пакета Excel.

Ниже представлены результаты расчетов.

Таблица 3.3 – 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 3.4 – 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 3.5 – 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 3.6 – 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

Из результатов расчета эксергий потоков видно, что проводить ректификацию многокомпонентных сетей эффективнее по схеме Петлюка, в отличие от схем без интеграций потоков. Большее значение эксергии свидетельствует о более высоком качестве тепловых потоков и повышенной работоспособности схемы, следовательно, для разделения необходимо меньшее количество энергии.

### 3.4 Оптимизация схемы фракционирования Петлюка

Посредством эксергетического анализа выявлено, что схема Петлюка более энергоэффективна, чем двухколонная схема без интеграций потоков.

Впоследствии была проведена оптимизация данной схемы с целью выявления наилучших параметров ведения процесса. Оптимизация велась с использованием симплексного метода планирования и оптимизации. Подробнее об этом методе см. в разделе 2.3.2.

В ходе оптимизации варьировались тепловые нагрузки в ребойлере и конденсаторе, а также флегмовое число. Интервал температуры в ребойлере (360-400), в конденсаторе (30-50), флегмового числа (2-4).

Зная пределы изменения факторов, составляется таблица:

	X1	X2	X3
осн.уров.	380	2,95	40
инт.варьиров.	20	0,85	10
верхний уров.	400	3,8	50
нижний уров.	360	2,1	30

Сформирован критерий оптимизации  $\eta_T$  – термодинамическая эффективность. Показатели энергетической эффективности устанавливают соотношения между подведенным извне и полезно используемым потоком энергии. Термодинамическая эффективность (критерий оптимизации) установки рассчитывается по формуле:

$$\eta_T = \frac{q_0 - q_k}{q_0} * 100\% , \quad (3.1)$$

Где  $q_0$  - суммарный поток теплоты, подведенной к системе, кВт.

$q_k$  - поток теплоты, отведенный из системы в холодильных аппаратах и не использованный для нагрева сырьевых или промежуточных потоков, кВт.

При помощи таблицы (2.3) рассчитывается матрица исходной серии опытов в натуральных единицах по формулам (2.22, 2.23).

Значения факторов в первых четырех опытах:

$$\begin{aligned}
 x_1^1 &= 380 + 20 * 0.5 = 390 & x_2^1 &= 2.95 + 0.85 * 0.289 = 3.2 \\
 x_1^2 &= 380 + 20 * (-0.5) = 370 & x_2^2 &= 2.95 + 0.85 * 0.289 = 3.2 \\
 x_1^3 &= 380 + 20 * 0 = 380 & x_2^3 &= 2.95 + 0.85 * (-0.578) = 2.4 \\
 x_1^4 &= 380 + 20 * 0 = 380 & x_2^4 &= 2.95 + 0.85 * 0 = 2.95 \\
 \\
 x_3^1 &= 40 + 10 * 0.204 = 42.04 \\
 x_3^2 &= 40 + 10 * 0.204 = 42.04 \\
 x_3^3 &= 40 + 10 * 0.204 = 42.04 \\
 x_3^4 &= 40 + 10 * (-0.612) = 33.88
 \end{aligned}$$

Введя полученные значения факторов в соответствующие поля моделирующей системы HYSYS и, сняв данные, рассчитывается критерий оптимизации для каждой серии опытов.

Energy Stream: Q-101			Energy Stream: benz cool		
Heat Flow	8.151e+006	kJ/h	Heat Flow	1.169e+005	kJ/h
Power	2264	kW	Power	32.47	kW
Energy Stream: add_energy			Energy Stream: Diesel cool		
Heat Flow	1.203e+006	kJ/h	Heat Flow	5.773e+005	kJ/h
Power	334.2	kW	Power	160.4	kW
			Energy Stream: Mazut cool		
			Heat Flow	9.546e+005	kJ/h
			Power	265.2	kW

Рисунок 3.10 – Поток теплоты, подводимые к системе (слева) и нерекуперированные потоки (справа)

Расчет термодинамической эффективности для первой серии опытов:

$$\eta_T = \frac{9.354 - 1.6488}{9.354} * 100\% = 82.37\%$$

$$q_0 = 8.151 + 1.203 = 9.354$$

$$q_k = 0.11169 + 0.5773 + 0.9546 = 1.6488$$

В итоге получается следующая таблица, представляющая собой симплекс план с худшим результатом в точке 3:

Таблица 3.7 – Симплекс план

N	X1	X2	X3	η	симплекс	худ.точка
1	390	3,2	42,04	82,37		
2	370	3,2	42,04	79,71		
3	380	2,4	42,04	76,23		
4	380	2,95	33,88	81,25	1,2,3,4	3

Далее совершается движение к оптимуму. Для этого, по формулам (2.20, 2.21) были рассчитаны координаты и условия новой отраженной точки 5:

$$x_1^c = \frac{390 + 370 + 380}{3} = 380$$

$$x_2^c = \frac{3.2 + 3.2 + 2.95}{3} = 3.12$$

$$x_3^c = \frac{42.04 + 42.04 + 33.88}{3} = 39.22$$

Условия в 5 точке:

$$x_1^5 = 2 * 380 - 380 = 380$$

$$x_2^5 = 2 * 3.12 - 2.4 = 3.84$$

$$x_3^5 = 2 * 39.32 - 42.04 = 36.6$$

Аналогичным образом проводились дальнейшие расчеты в поисках оптимума с отбрасыванием худших точек. В результате получилась таблица:

Таблица 3.8 – Симплекс план

N	X1	X2	X3	η	симплекс	худ.точка
1	390	3,2	42,04	82,37		
2	370	3,2	42,04	79,71		
3	380	2,4	42,04	76,23		
4	380	2,95	33,88	81,25	1,2,3,4	3
5	380	3,84	36,6	84,73	1,2,4,5	2
6	396,66	3,46	32,98	83,44	1,4,5,6	1
7	381,1	3,64	26,94	84,06	4,5,6,7	4
8	391,84	3,46	37,4	83,41	5,6,7,8	8
9	380	3,84	35,7	84,74	5,6,7,9	

Расчеты 9-ой серии опытов показали следующие результаты:

$$\eta_T^9 = \frac{10.795 - 1.6482}{10.795} = 84.74$$

$$q_0 = 9.603 + 1.192 = 10.795$$

$$q_k = 0.1178 + 0.5773 + 0.9531 = 1.6482$$

Дальнейшие поиски оптимума не показали результатов, превосходящий этот, следовательно, оптимум достигнут. Это означает, что, установив температуру в ребойлере и конденсаторе, а также значение флегмового числа, соответствующие значениям в девятой серии опытов, мы достигнем наибольшей термодинамической эффективности системы без потери качества продукта.

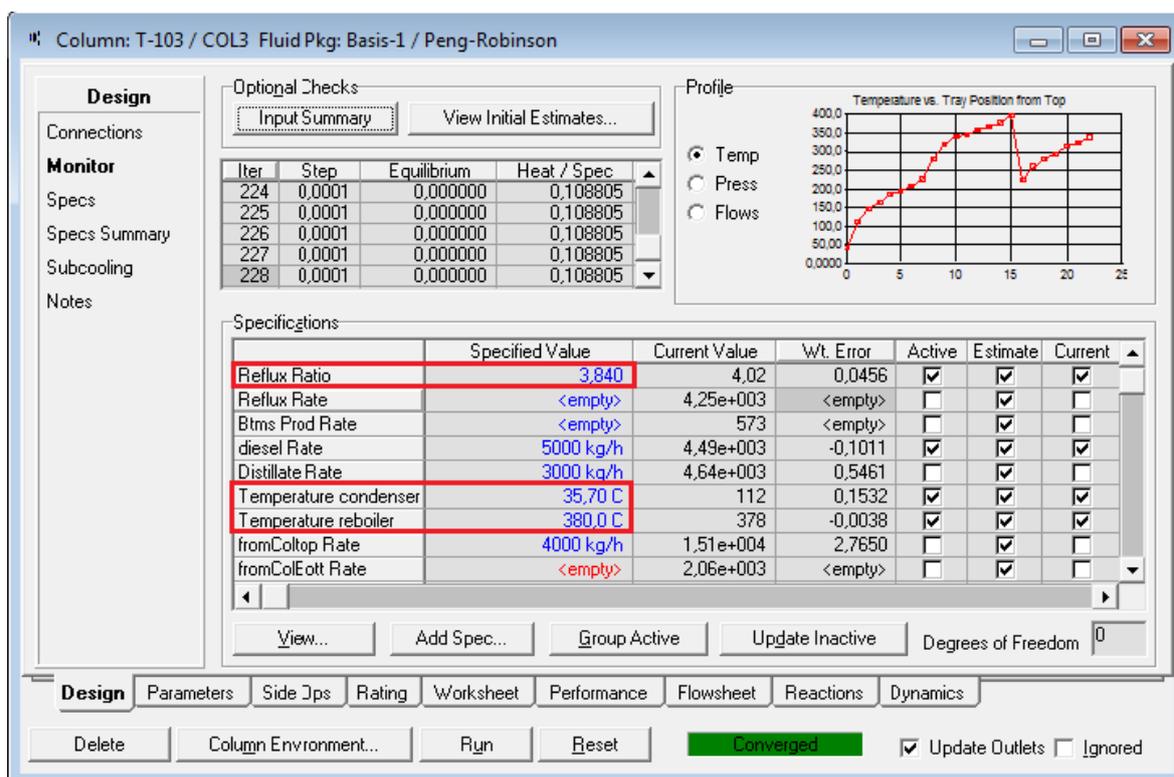


Рисунок 3.11 – Спецификации колонны Петлюка

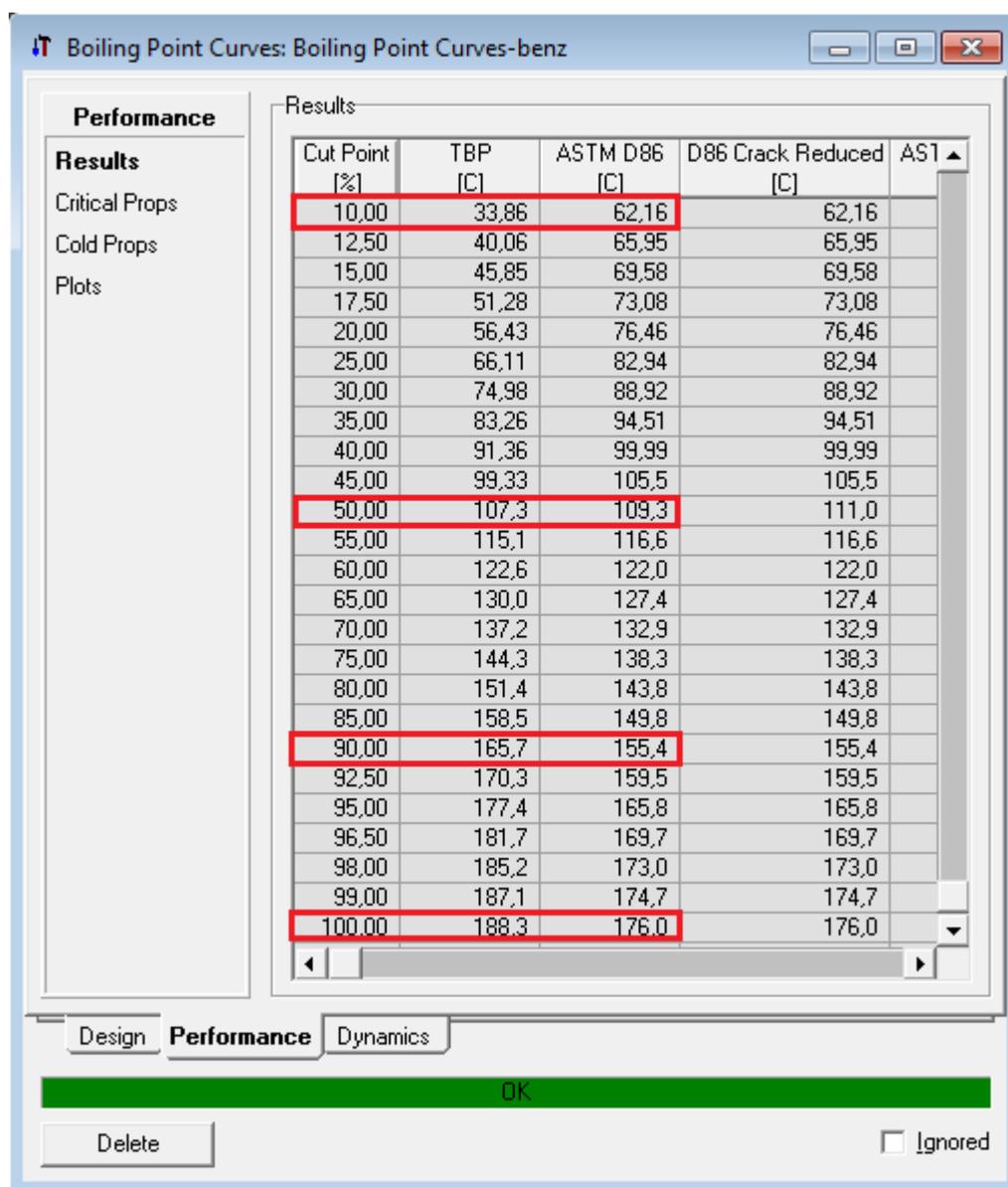


Рисунок 3.12 – Данные кривой разгонки бензина

#### 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Исследования в области совершенствования технологии процессов фракционирования нефтепродуктов и их аппаратного оформления являются одним из важнейших направлений технического прогресса. К примеру, ежегодные затраты нефтяных компаний США на совершенствование процессов ректификации составляют более 2 млрд.

долларов [28]. Это свидетельствует о том, что задачи эффективного потребления ресурсов всегда являлись достаточно актуальными. Технологический процесс всегда сопровождается потреблением тех или иных ресурсов: будь то материальные, энергетические, или трудовые. Стратегический менеджмент предусматривает разработку и следование стратегии эффективного использования ресурсов.

В настоящее время перспективность всех научных разработок диктуется исключительно их коммерческой ценностью, опираясь на которую авторы исследования получают соответствующее финансирование на дальнейшие разработки.

Создание новых технологий подготовки и переработки нефтей с учетом особенностей их составов – актуальная задача, решение которой позволит улучшить качество, расширить ассортимент продуктов, в том числе получаемых и используемых непосредственно на промыслах.

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

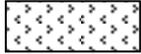
#### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [26]. На рисунке 1 представлена карта сегментирования рынка по разработке компьютерных моделирующих систем (КМС).

Размер компании	Вид продукции		
	КМС для промышленной подготовки нефти	КМС для НПЗ	КМС для нефтехимии

Крупные			
Средние			
Мелкие			

Рисунок 4.1 — Карта сегментирования рынка услуг по разработке КМС:

-  – АО «Шлюмберже», г. Москва
-  – АО НК «КазМунайГаз», г. Астана
-  – «Институт проблем нефти и газа РАН», г.Москва

## 4.2 Анализ конкурентных технических решений

Чтобы оценить эффективность научной разработки и определить направление ее дальнейшего развития, необходимо определить её положение на рынке конкурентных технических решений.

В таблице 1 представлен сравнительный анализ схем фракционирования нефти (ф) в рамках выполнения ВКР и двух конкурентных работ (к1) и (к2) [2], [3].

Таблица 4.1 — 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>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение четкости разделения нефтепродуктов	0,1	4	5	1	0,20	0,25	0,05
Снижение энергозатрат	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
Упрощение конструкции	0,05	4	4	1	0,2	0,2	0,05

Рост производительности	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
Упрощение обслуживания	0,05	4	5	1	0,20	0,25	0,05
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,3	4	5	1	1,2	1,5	0,3
Уровень проникновения на рынок	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	1	0,25	0,25	0,05
Послепродажное обслуживание	0,05	5	4	2	0,25	0,2	0,1
Финансирование научной разработки	0,04	3	4	1	0,12	0,16	0,04
Срок выхода на рынок	0,2	4	4	1	0,8	0,8	0,2
Итого	1	46	48	19	4,07	4,36	1,39

В работе [27] ректификация нефти предусматривает использование блока конденсации в виде конденсатора-холодильника и рефлюксной емкости, который подключен к верху каждой из колонн. Дополнительно установка снабжена блоком улавливания низкокипящих компонентов бензина, представляющей из себя последовательно подключенные компрессор, конденсатор-холодильник и сепаратор в виде сборной емкости. Технически данная реализация процесса ведет к снижению энергозатрат на перегонку нефти, повышение отбора светлых нефтепродуктов и улучшение их четкости разделения.

Особенностью конкурентного решения [28] является организация дополнительного бокового погона с нижней полуглухой тарелки укрепляющей секции первой атмосферной колонны на нижнюю полуглухую тарелку второй колонны, обеспечивающей дополнительный нисходящий поток жидкости и отбор газойля. Среди заявленных выгод: снижение

энергозатрат на ведение процесса и увеличение отбора нефтепродуктов во второй колонне.

Анализ альтернативных работ показал, что разработанная в рамках ВКР схема ректификации, интегрированная по материальным и тепловым потокам, обладает приемлемым конкурентным уровнем. Однако, в будущем, необходимо увеличить расчетные возможности для проведения данных исследований. В дальнейшем следует обратить внимание на рациональное использование рекуперированного тепла.

### 4.3 Диаграмма Исикавы

С целью установления причинно-следственных связей, возникающих в ходе выполнения моделирования схемы ректификации Петлюка, сформирована диаграмма Исикава. Основными факторами, влияющими на объект исследования, являются методы, оборудование и исполнитель.

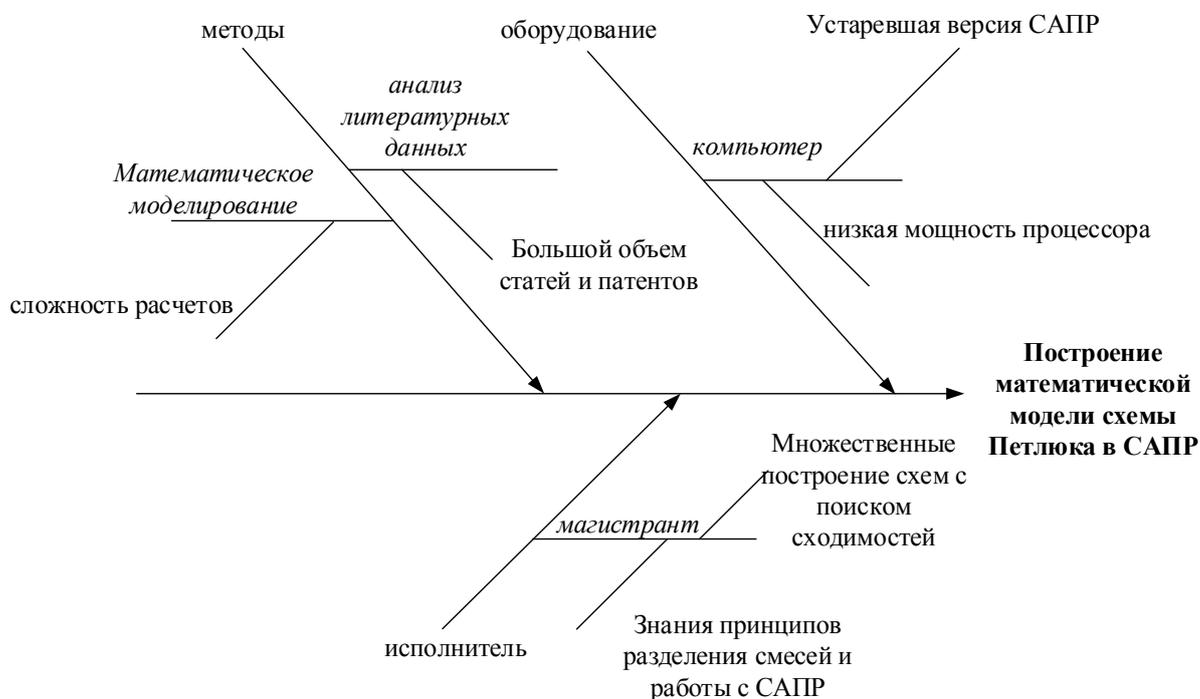


Рисунок 4.2 — Причинно-следственная диаграмма

Анализируя факторы, влияющие на реализацию поставленной задачи, можно принять следующие меры по оптимизации выполнения работы. Для фактора «оборудование» можно рассмотреть вариант использования более мощного процессорного блока. Для фактора «методы» вариантом решения проблемы является накопление и анализ данных на основе проведения собственных расчетов. Для фактора «магистрант» предлагается выполнять поэтапное моделирование схемы с вариацией параметров.

#### 4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Логическим завершением разработки объекта моделирования и создания математической модели является практическое применение на действующем промышленном объекте. Для осуществления реализации разработки необходимо представить её в виде коммерческого проекта.

Таблица 4.2 — Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	2
3	Определены отрасли и технологии для предложения на рынке	4	3

4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынке	5	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной	1	1

	разработки		
15	Прорабатывается механизм реализации научного проекта	4	3
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>46</b>	<b>36</b>

Согласно данным таблицы 2 суммарное количество баллов по категории степень проработанности научного проекта составляет 46, что указывает на готовность проекта к коммерциализации с перспективой выше среднего (45-59 баллов). В свою очередь уровень имеющихся знаний у разработчика находится в диапазоне 44-30, что говорит о перспективе ниже среднего уровня.

Таким образом, реализация данного проекта вероятна и требует партнерского участия и инвестирования со стороны научно-исследовательских объединений, промышленных организаций. Развить компетенцию разработчика в сфере коммерциализации проекта (в данном случае магистранта) возможно путем более полного и подробного ознакомления с предыдущими и действующими проектами.

#### **4.4.1 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Для обеспечения коммерческой отдачи от реализации проекта возможно применение таких методов коммерциализации научных разработок, как торговля патентными лицензиями, передача ноу-хау, инжиниринг, франчайзинг, организация собственного предприятия и т.д. Для коммерциализации данной математической модели актуален метод инжиниринга по следующим причинам. Во-первых, разработанная математическая модель имеет значимое практическое применение, учитывает множество параметров изучаемого процесса и способствует оптимизации,

энерго- и ресурсосбережению и, в конечном счете, снижению затрат на производство. Во-вторых, для разработки математической модели необходим большой объем актуальных промышленных данных, для установления закономерностей, анализа взаимосвязей, тестирования и т.п. В-третьих, существует практика сотрудничества производственных организации с научными объединениями с целью решение промышленных задач путем глубоко научного изучения и поиска обоснованных вариантов решения.

Таким образом, инжиниринг, в данном случае, реализуется путем заключения договора на осуществление изучения и оптимизации промышленного процесса. Стороной консультантом выступает научно-исследовательская группа научной организации (университет, кафедра). Заказчик представлен в лице производственной организации (завод, фабрика).

#### **4.5 Инициация проекта**

Для определения нового проекта необходимо составление Устава проекта. В рамках магистерской работы предполагается наличие таких критериев, как цели и результаты проекта, организационная структура проекта, ограничения и допущения проекта (таблица 4.3-4.6).

Таблица 4.3 — Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
----------------------------------	----------------------------------

Научное объединение кафедры (студенты, преподаватели)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Освоение принципиально новой (для научной группы) области исследования и моделирования</li> <li>2) Коммерческое продвижение проекта</li> <li>3) Развитие и укрепление связей с отраслью промышленности (производственные компании, заводы) в области совместных научных разработок.</li> </ol>
Представители промышленности (компании, заводы)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Получение проекта, способствующего оптимизации, энерго-и ресурсосбережению действующего производства.</li> <li>2) Развитие и укрепление связей с научным объединением (университет, кафедра) в области совместных научных разработок.</li> </ol>
Университет, к которому относится научное объединение	Продвижение статуса учебного заведения, повышение научного престижа
Научные объединения сторонние (конкурирующие)	Опасения в связи с появлением конкурентоспособного проекта

Таблица 4.4 — Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Разработка математической модели схемы ректификации Петлюка, и сравнение ее энергоэффективности с аналогами.
Ожидаемые результаты проекта:	Получение схемы ректификации нефти с высоким уровнем энергоэффективности

Критерии приемки результата проекта:	1) Новизна идеи 2) Адекватность относительно действующего промышленного процесса 3) Расчеты обеспечивают получение полного набора необходимых производственных показателей 4) Универсальность 5) Простота и точность интерфейса
Требование к результату проекта:	Максимальное соответствие критериям приемки результата проекта

Таблица 4.5 — Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функция	Трудозатраты, час.(за 2 года)
1	Самборская М.А., доцент каф. ХТТиХК	Руководитель проекта	Координирование проекта, консультирование	480
2	Сабиев А.Н., магистрант каф. ХТТиХК	Исполнитель по проекту	Сбор и анализ литературных данных, выполнение моделирования процесса, интерпретация результатов	3840

Таблица 4.6 — Ограничения проекта

Фактор	Ограничения /допущения
Расчетные возможности	Выполнение расчетов ограничено компьютерными мощностями

	кафедры
Сроки завершения проекта	Июнь 2017 года
Бюджет проекта	Материальная база научной группы (кафедры)

#### 4.6 Планирование управления научно-техническим проектом

##### 4.6.1 Бюджет научного исследования

Выполнение научных исследований влечет за собой ряд материальных затрат для обеспечения эффективной и комфортной работы.

Таблица 4.7 — Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Тетрадь	2 шт	25	50
Ручка	6 шт	20	120
Карандаш	2 шт	12	24
Картридж для принтера	1 шт	550	550
Бумага	1 шт	300	300
Всего за материалы			1044
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			53
Итого по статье			1097

Таблица 4.8 — Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб	Общая стоимость оборудования, тыс. руб
1	ПО Microsoft office	1	1,557	1,557
3	Apen HYSYS	1	99,980	99,980

Таблица 4.9 — Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнитель по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс.руб.
1	Руководитель	20	1,19	23,8
3	Магистрант	160	0,36	57,6

Статья расчета заработной платы включает в себя основную заработную плату работников и дополнительную.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.1)$$

где  $Z_{осн}$  — основная заработная плата;

$Z_{доп}$  — дополнительная заработная плата.

В свою очередь основная заработная плата определяется как:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4.2)$$

где  $Z_{осн}$  — основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$  — продолжительность работ, выполняемых научно

— техническим работником, раб. дн. ;

$Z_{дн}$  — среднедневная заработная плата работника, руб.

Средняя заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.3)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течении года;

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5 – дн. неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6 – дн. неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно

– технического персонала, раб. дн. (таблица 10).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.4)$$

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

$k_{\text{пр}}$  – приемлимый коэффициент;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент.

Таблица 4.10 — Баланс рабочего времени за два года

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	730	730
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	104	104
- праздничные дни	18	18
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	48
-невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего	546	546

времени		
---------	--	--

Таблица 4.11 — Расчет основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{б,}$ руб.	$k_p$	$Z_{м,}$ руб.	$Z_{дн,}$ руб.	$T_{раб,}$ раб. дн.	$Z_{осн,}$ руб.
Руководитель	36 800	1,3	47 840	1 173	212	248 676
Магистрант	11 000	1,3	14 343	352	212	74 624

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.5)$$

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

$k_{доп}$  — коэффициент дополнительной зарплаты;

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

Таблица 4.12 — Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	248 676	74 624
Дополнительная зарплата	37 301	11 193
Итого по статье $C_{зп}$	282 977	85 817

Отчисления на социальные нужды во внебюджетные фонды:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.6)$$

где  $k_{внеб}$

— коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды составляют 76 687 руб.

Научные и производственные командировки ( $C_{\text{ком}}$ ) составляют 10%  $C_{\text{зп}}$  исполнителей проекта и равны 52 428 руб.

Общие затраты за два года реализации проекта с учетом всех вышеупомянутых пунктов составили 787 223 руб.

#### 4.6.2 Организационная структура проекта

Исходя из рекомендаций [26] выбран проектный вариант организационной структуры проекта.

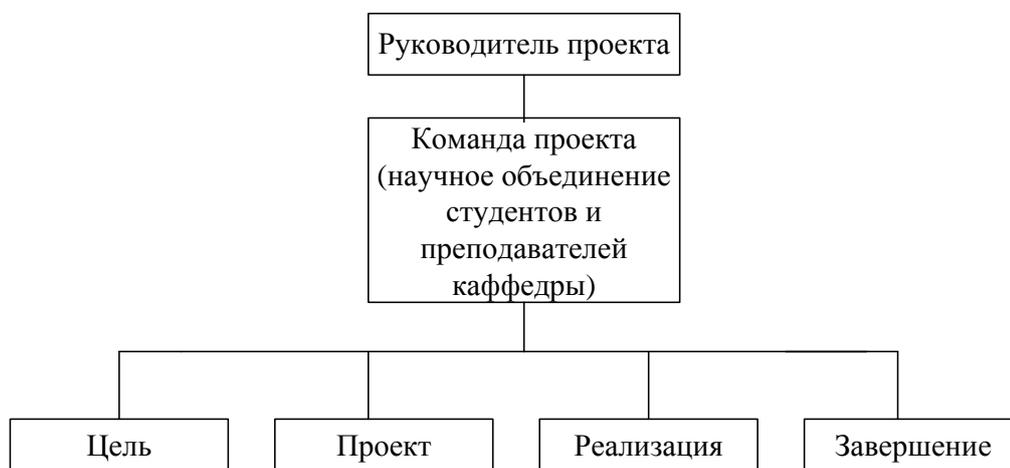


Рисунок 4.3 — Проектная структура проекта

#### 4.6.3 Матрица ответственности

С целью распределения ответственности между участниками проекта сформирована матрица ответственности (таблица 4.13).

Таблица 4.13 — Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель проекта	Магистрант
Формирование актуальной проблемы	И	О
Выбор методики решения	С	И
Литературный обзор	С	И
Проведение расчетов	С	И
Анализ полученных данных	С	И
Структурирование и оформление результатов	С	И

#### **4.6.4 План проекта**

С целью иллюстрации графика выполнения работы строится календарный план для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе временных показателей проведения научного исследования с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. Календарный план-график приведен в Приложении В.

### **4.7 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

#### **4.7.1 Оценка сравнительной эффективности исследования**

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.7)$$

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 (в т.ч. аналоги).

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

Таблица 4.14 — Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Производительность		0,25	5	5	3
2. Качество продуктов разделения		0,20	4	5	3
3. Энергосбережение		0,20	5	5	4
4. Материалоемкость		0,20	5	5	3
6. Легкость в эксплуатации		0,15	5	5	5
ИТОГО		1			

$$I_{\text{р.-тек.пр.}} = 0,25 * 5 + 0,20 * 4 + 0,20 * 5 + 0,20 * 5 + 0,15 * 5 = 4,8$$

$$I_{\text{р.-аналог 1}} = 0,25 * 5 + 0,20 * 5 + 0,20 * 5 + 0,20 * 5 + 0,15 * 5 = 5,0$$

$$I_{\text{р.-аналог 2}} = 0,25 * 3 + 0,20 * 3 + 0,20 * 4 + 0,20 * 3 + 0,15 * 5 = 3,5$$

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

В результате проведенной работы была спроектирована и создана конкурентоспособная разработка, отвечающая современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Сравнение значений интегральных показателей ресурсоэффективности позволило понять, что более эффективным вариантом решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является исполнение 1 или 2.

## **5. Социальная ответственность**

Предметом изучения выполненной диссертационной работы был анализ энергоэффективности схем фракционирования нефти. В работе было проведено математическое моделирование двух схем фракционирования с последующим выявлением более энергоэффективной посредством эксергетического анализа и дальнейшая ее оптимизация. Диссертация выполнена с использованием системы автоматизированного проектирования ASPEN HYSYS и пакета программ Microsoft Office.

В данном разделе рассматриваются условия труда при обслуживании объекта моего исследования – блока ректификационных колонн. Цель данного раздела: проанализировать опасные и вредные факторы при данном виде организационной деятельности и решить вопросы обеспечения защиты от них на основе требований действующих нормативно-технических документов.

## 5.1 Производственная безопасность

Для выбора факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [29]:

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по обслуживанию колонны фракционирования нефти

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Полевые работы: 1) регулирование расходов; 2) сбор данных с приборов учета; 3) обследование колонны на предмет выявления повреждений; 4) техническое обслуживание.	1. Шум (повышенный уровень); 2. Метеоусловаия; 3. Освещение.	1. Пожарная безопасность оборудования; 2. Электробезопасность; 3. Давление.	ГОСТ 12.1.004-91 [6]; ГОСТ 12.1.005-88 [7]; СанПиН 2.2.4.548-96 [16]; СНиП 2.04.05-91 [17]; СНиП 23-05-95[19]; ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ.

### 5.1.1 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению (производственная санитария)

*Электрический ток.* Специфическая опасность электроустановок – токоведущие проводники оборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые предупреждают человека об опасности. Реакция человека на электрический ток возникает лишь при протекании последнего через тело человека.

Электрический ток представляет собой скрытый тип опасности, т.к. его трудно определить в токо- и нетоковедущих частях оборудования, которые являются хорошими проводниками электричества. Смертельно опасным для жизни человека считают ток, величина которого превышает 0,05А, ток менее 0,05А – безопасен (до 1000 В) [37].

Для предотвращения электротравматизма большое значение имеет правильная организация работ, т.е. соблюдение правил технической эксплуатации электроустановок потребителей [36] и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок [37] и правил устройства электроустановок.

В целях предотвращения электротравм следует соблюдать требования, предъявляемые к обеспечению электробезопасности работающих в производственных условиях: [50].

1. Конструкция производственного оборудования, приводимого в действие электрической энергией, должна включать устройства (средства) для обеспечения электробезопасности.

2. Технические средства и способы обеспечения электробезопасности (например ограждение, заземление, зануление, изоляция токоведущих частей, защитное отключение и др.) должны устанавливаться в стандартах и технических условиях на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок) с учетом условий эксплуатации и характеристик источников электрической энергии.

3. Производственное оборудование должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, представляющем опасность для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва.

4. Производственное оборудование, действующее с помощью неэлектрической энергии (например гидравлической, пневматической, энергии пара), должно быть выполнено так, чтобы все опасности, вызываемые этими видами энергии, были исключены.

#### *Пожарная безопасность*

Предотвращение образования взрывоопасной среды внутри технологического оборудования должно быть обеспечено [41]:

- герметизацией технологического оборудования;

-поддержанием состава и параметров среды вне области их воспламенения;

-применением ингибирующих (химически активных) и флегматизирующих (инертных) добавок;

- конструктивными и технологическими решениями, принятыми при проектировании производственного оборудования и процессов.

Предотвращение возникновения источника инициирования взрыва должно быть обеспечено:

- регламентацией огневых работ;

-предотвращением нагрева оборудования до температуры самовоспламенения взрывоопасной среды;

- применением средств, понижающих давление во фронте ударной волны;

- применением материалов, не создающих при соударении искр, способных инициировать взрыв взрывоопасной среды;

- применением средств защиты от атмосферного и статического электричества, блуждающих токов, токов замыкания на землю и т.д.;

- применением взрывозащищенного оборудования;

- применением быстродействующих средств защитного отключения возможных электрических источников инициирования взрыва;

- ограничением мощности электромагнитных и других излучений;

- устранением опасных тепловых проявлений химических реакций и механических воздействий.

### *Давление*

Конструкция сосудов должна обеспечивать надежность и безопасность эксплуатации в течение расчетного срока службы и предусматривать возможность проведения технического освидетельствования, очистки, промывки, полного опорожнения, продувки, ремонта, эксплуатационного контроля металла и соединений. Общие

требования к аппаратам работающим под давлением, в число которых входит спроектированная ректификационная колонна [52]:

- Для каждого сосуда должен быть установлен и указан в паспорте расчетный срок службы с учетом условий эксплуатации.

- Устройства, препятствующие наружному и внутреннему осмотрам сосудов (мешалки, змеевики, рубашки, тарелки, перегородки и другие приспособления), должны быть, как правило, съемными.

При применении приварных устройств должна быть предусмотрена возможность их удаления для проведения наружного и внутреннего осмотров и последующей установки на место.

- Если конструкция сосуда не позволяет проведение наружного и внутреннего осмотров или гидравлического испытания, предусмотренных требованиями Правил, разработчиком проекта сосуда в руководстве по эксплуатации должны быть указаны методика, периодичность и объем контроля, выполнение которых обеспечит своевременное выявление и устранение дефектов. В случае отсутствия в руководстве таких указаний методика, периодичность и объем контроля определяются специализированной организацией.

- Конструкции внутренних устройств должны обеспечивать удаление из сосуда воздуха при гидравлическом испытании и воды после гидравлического испытания.

- Сосуды должны иметь штуцера для наполнения и слива воды, а также для удаления воздуха испытании.

- На каждом сосуде должны быть предусмотрены вентиль, кран или другое устройство, позволяющее осуществлять контроль за отсутствием давления в сосуде перед его открыванием; при этом отвод среды должен быть направлен в безопасное место.

- Расчет на прочность сосудов и их элементов должен производиться по НД, согласованной с Госгортехнадзором России. Сосуды,

предназначенные для работы в условиях циклических и знакопеременных нагрузок, должны быть рассчитаны на прочность с учетом этих нагрузок.

При отсутствии нормативного метода расчет на прочность должен выполняться по методике, согласованной со специализированной научно-исследовательской организацией.

Наружные глухие элементы(например, накладки), не работающие под давлением, должны иметь дренажные отверстия в самых низких местах.

- Заземление и электрическое оборудование сосудов должны соответствовать правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей в установленном порядке.

### **5.1.2 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению (производственная санитария)**

1. *Недостаточная освещенность рабочей зоны.* Среди технических требований к рабочему месту инженера особенно важным является требование к освещенности, которая значительно влияет на эффективность трудового процесса. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма. Поэтому необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения.

Естественное освещение должно удовлетворять СНиП II-4-79. Нормы естественного освещения установлены с учетом обязательной регулярной очистки стекол световых проемов не реже двух раз в год (для помещений с незначительным выделением пыли, дыма и копоти). Учитывая, что солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека, необходимо максимально продолжительно использовать естественное освещение.

В соответствии с характером выполняемых работ, освещенность рабочего места по СНиП II-4-79 должна быть 200 Лк – общая освещенность и 300 лк — комбинированное освещение.

2. *Метеоусловия.* Параметры микроклимата в значительной степени влияют тепловое самочувствие человека и, следовательно, на его работоспособность, а также и на надежность работы техники. С целью создания нормальных условий для персонала установлены нормы производственного микроклимата. На производстве согласно [34] должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата, как показано в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные нормы микроклимата на рабочем месте (СанПиН 2.2.4.548 – 96) [34]

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура С <sup>0</sup>		Относительная Влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактические	Оптимальные	Фактические	Оптимальные	Фактические	Оптимальные
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодный	Пб	15	17-19	45	40-60	0.1	0.1
Теплый	Па	21	20-22	45	40-60	0.1	0.1

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия: системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, перерывы в работе [34].

2. *Шум.* Длительное воздействие шума снижает остроту слуха и зрения, повышает кровяное давление, утомляет центральную нервную систему, в результате чего ослабляется внимание, увеличивается количество ошибок в действиях рабочего, снижается производительность труда.

Воздействие шума приводит к появлению профессиональных заболеваний и может явиться причиной несчастного случая.

Органы слуха человека воспринимают звуковые колебания с частотой 16–20000 Гц. Колебания с частотой ниже 20 Гц (инфразвук) и выше 20000 Гц (ультразвук) не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое воздействие на организм. Гигиенические нормативы шума определены ГОСТ 12.1.003 - 83\* «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» и СН 2.2.4/2.1 .8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий».

Для снижения шума в помещениях проводятся следующие основные мероприятия:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- установка глушителей шума;
- рациональное размещение оборудования.

## 5.2 Экологическая безопасность (Охрана окружающей среды)

Работа установки ректификации нефти предусматривает следующие выбросы в атмосферу:

Таблица 5.3- Перечень выбросов установки ректификации нефти

№ п/п	Наименование сброса	Кол-во образования выбросов т/год	Метод ликвидации, утилизации	Периодичность выбросов	Установленная норма содержания загрязнений в выбросах (мг/л)	Примечание
<b>ЖИДКИЕ ОТХОДЫ</b>						
1	Вода химзагрязнённая  Очищенные стоки в р.	до 120 м <sup>3</sup> /сутки	На очистные сооружения	По мере наполнения ёмкости	0,05 мг/л нефтепродуктов в 5 мг/л взвешенных	Хоз. Бытовая и производ.- дождевая

	Исаевку		установк и		веществ	канализация
2	Шлам от очистных сооружений	1 м <sup>3</sup> /год	Захорон ение на полигон е	1 раз год	II класс опасности	Металличес кие контейнеры (бочки)
3	Масла отработанные	0,15 м <sup>3</sup> /год	Вторичн ая перераб отка на УАПН в мазут	По мере накопления	III класс опасности	
<b>ГАЗООБРАЗНЫЕ ОТХОДЫ</b>						
4	Газовые сдувки от технологи- ческих схем	8730,6 т/год  от двух схем	Сжигани е на факеле	Непрерывн о		
5	Дымовые газы от печей	26,9 т/год	Сброс в атмосфе ру	Постоянно, при работе УАПН		
6	Углеводородные газы от насосных, колодн, испари- теля, сепаратора, теплообменника и ЗРА	33,0 т/год	Сброс в атмосфе ру	Постоянно, при работе УАПН		
7	Дымовые газы от котельной и дизельной электростанции	11,8 т/год	Сброс в атмосфе ру	При работе котельной и дизельной электроста н.		

8	Дыхание ёмкостей бензина, углеводородного сырья	25,5 т/год	Частичный сброс в атмосферу	Во время заполнения емкости		
9	Углеводородные газы от пункта налива	1,3 т/год	В атмосферу	Во время работы пункта налива		
<b>ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ</b>						
10	Шлам от зачистки резервуаров	569,985 т/год	Захоронение на полигоне	При зачистке резервуаров	III класс опасности	Двойные полиэтиленовые мешки
11	Отходы, содержащие черные металлы	0,01 т/год	Вторсырье		IV класс опасности	Самовывоз
12	Промасляная ветошь	0,174 т/год			IV класс опасности	Самовывоз, полиэтиленовые мешки
13	Песок, загрязненный маслами	0,2 т/год			IV класс опасности	Самовывоз, полиэтиленовые мешки
14	Лампы люминесцентные	0,009 т/год	Захоронение на полигоне		I класс опасности	Металлический контейнер
15	Аккумуляторы свинцовые	0,159 т/год	Вторсырье		II класс опасности	Самовывоз, металлический ящик
16	Рукава маслобензостойкие	0,03 т/год			IV класс опасности	Самовывоз в специализированную организацию
17	Смет с территории УАПН	22,0 т/год			IV класс опасности	Самовывоз в специализированную организацию

						организацию
18	Масла автомобильные отработанные	0,243 т/год			III класс опасности	Использ. повторно в качестве добавок
19	Масла компрессорные отработанные	1,52 т/год			III класс опасности	
20	Шины пневматические отработанные	0,905 т/год			IV класс опасности	Для благоустройства территории
21	Мусор от бытовых помещений организаций несортированный	5,4 т/год	Вывоз на свалку		IV класс опасности	Металлический контейнер с крышкой
22	Отходы от жилищ несортированные	9,9 т/год	Вывоз на свалку		IV класс опасности	Металлический контейнер
23	Отходы абразивных материалов в виде пыли и порошка	0,053 т/год			IV класс опасности	
24	Шлам от мойки автотранспорта	0,18 т/год	Сброс на рельеф местности		IV класс опасности	
25	Лом и отходы черных металлов несортированный	2,4 т/год			V класс опасности	Самовывоз
26	Лом и отходы цветных	0,7 т/год			V класс опасности	Самовывоз

	металлов (алюминия) несортированны й	т/год				
--	---	-------	--	--	--	--

### 5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Таблица 5.4 – ЧС и пути их решения

Возможные неполадки	Причины возникновения неполадок	Способы устранения Неполадок
1. Резкое увеличение давления в колоннах К-1, К-2, треск змеевика печи	Попадание воды в сырье	Устранить попадание воды в сырье
2. Повышение или понижение уровня в емкости сепаратора ЕС	1. Вышел из строя клапан-регулятор уровня 2. Клапан-регулятор забился мех. примесями	Снять и прочистить клапан от мех. примесей
3. Высокий (низкий) уровень в колонне К-1, испарителе ИС, емкости-сепараторе ЕС	1. Высокое (низкое) задание уровня на приборах 2. Вышел из строя клапан регулятор 3. Забился клапан-регулятор мех. примесями	Поставить задание на регламентное значение Отремонтировать клапан Снять и почистить клапан от мех. примесей.
4. Понижение (повышение) температуры верха колонны К-1, К-2	1. Недостаточное количество орошения в колонну 2. Большое количество орошения в колонну 3. Высокая (низкая) температура куба колонны	Увеличить подачу орошения Уменьшить подачу орошения Понизить (повысить) температуру куба колонны
5. Высокое давление в колонне К-1	1. Попадание воды в сырье. 2. Засорение верхних	

Возможные аварийные ситуации и правила остановки УАПН

Аварийные ситуации могут возникнуть в следующих случаях:

- прекращение подачи сырья;
- прекращение подачи электроэнергии;
- нарушение герметичности оборудования или трубопроводов;
- отказ в работе приборов КИП и А.

В случае прекращения подачи сырья:

- потушить форсунки подогревателя закрыв вентиль на линии подачи топливного газа;
- выключить насос;
- закрыть запорную арматуру на линии поступления сырья на установку;
- в случае длительной остановки сдренировать и откачать нефтепродукты с установки и выключить насосы, отключить установку от внешней электросети.

В случае прекращения подачи электроэнергии на установку:

- 1) Закрыть запорную арматуру на трубопроводах;
  - а) подачи топлива к форсункам печи;
  - б) поступления сырья на установку;
  - в) откачки готовой продукции с установки.
- 2) На щите электропитания отключить установку от внешней электросети.
- 3) В холодное время года, при остановке на длительное время, после охлаждения аппаратов до 40-50°С полностью слить из них нефтепродукты в дренажные емкости, дренажные вентили оставить открытыми.

При поломке приборов КИПиА, сбое АСУ ТП остановить установку по правилам нормальной остановки.

## **5.4 Правовые и организационные мероприятия по обеспечению безопасности**

При разработке данного раздела учитывались необходимые нормы и требования законов Российской Федерации при работе за компьютером.

### **5.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

В соответствии с пунктом 13.1 статьи 13 Постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 03.06.2003 № 118" [31]. О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03" [39] лица, работающие с ПЭВМ более 50% рабочего времени (профессионально связанные с эксплуатацией ПЭВМ), должны проходить обязательные предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры в установленном порядке.

Нормальная продолжительность рабочего времени согласно статье 91 Трудового кодекса РФ не может превышать 40 часов в неделю. Согласно статье 92 Трудового кодекса РФ сокращенная продолжительность рабочего времени при проведении работ профессионально связанных с эксплуатацией ПЭВМ не предусмотрена.

В соответствии с Типовой инструкцией по охране труда при работе на персональном компьютере ТОИ Р-45-084-01 [31], продолжительность непрерывной работы с компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать двух часов. При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к различным видам трудовой деятельности, за основную работу с компьютером следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение рабочей смены или рабочего дня.

Согласно статье 111 Трудового кодекса РФ при шестидневной рабочей неделе работникам предоставляются один выходной день в неделю – воскресенье.

## 5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей

### зоны

Рабочее место – это часть пространства, в котором инженер осуществляет трудовую деятельность и проводит большую часть рабочего времени. Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности инженера, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера, обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении. При правильной организации рабочего места производительность труда инженера возрастает с 8 до 20 процентов [29].

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03 [33] (рабочее место для выполнения работ, в положении сидя) конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места инженера должны быть соблюдены следующие основные условия:

- оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места;
- достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения;
- необходимо естественное и искусственное освещение для выполнения поставленных задач;
- уровень акустического шума не должен превышать допустимого значения.

Рабочая поза сидя вызывает минимальное утомление инженера. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации.

## **Заключение**

В выпускной квалификационной работе был проведен литературный обзор методов повышения энергоэффективности схем фракционирования нефти, а также патентных наработок в этой области. Рассмотрены различные варианты организации схем фракционирования. В свою очередь заявлено, что схемы с частичной или полной интеграцией материальных и тепловых потоков являются наиболее энергоэффективными. Осуществлен обзор наиболее популярных систем автоматизированного проектирования (САПР). Описаны различные методы оценки энергоэффективности и оптимизации систем фракционирования нефти.

В САПР HYSYS смоделированы две схемы фракционирования нефти отличающихся наличием интеграции тепловых и материальных потоков. Посредством эксергетического анализа выявлено, что наибольшая энергоэффективность достигается в схеме с тепловой и материальной интеграцией – схеме Петлюка. В дальнейшем были предприняты действия по оптимизации технологических параметров данной схемы. Для оптимизации был использован симплексный метод планирования и оптимизации.

В разделах «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность» определены возможные потребители результатов исследования и его экономическая состоятельность, обнаружены и проанализированы вредные и опасные факторы, возникающие при работе с объектом исследования, проанализировано влияния исследуемого объекта на окружающую среду.

## Список литературы

1. Ахметов С.А. Глубокая переработка нефти и газа / С.А. Ахметов // - Уфа: Изд-во УГНТУ, 1996.- 405 с.
2. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа / С.А. Ахметов // -Уфа: Гилем, 2002. 672 с.
3. Гриценко А.И., Островская Т. Д., Юшкин В. В. Углеводородные конденсаты месторождений природного газа. М.: Недра, 1983. -263 с.
4. Ясавеев Х.Н., Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Модернизация установок переработки углеводородных смесей. Казань: ФЭН, 2004.- 307с.
5. Морозов В.А., Луговской А.И., Степанников С.В., Киевский В.Я., Ямпольская М.Х. Способ первичной перегонки нефти. Патент RU 2401296, 2009.
6. Мнушкин И.А., Гасанова О.И. Способ перегонки нефти. Патент RU 2484122, 2012.
7. Быстров А.И., Деменков В.Н., Хайрудинов И.Р. Способ перегонки нефти. Патент RU 2516464, 2013
8. Wright R.O. Fractionation apparatus. US patent 2.481.134, 1949.
9. Stubber H.P., Sulus Montz Gmb H. - №196229553, Массообменная тарелка. Заявка 196229553 Германия, МПК В 01 D 3/20./ Заявл. 7.6.96., Оpubл. 11.12.96.
10. А.с. СССР №292340. Контактная струйная тарелка / Ю.К. Молоканов. 1973.
11. Пат.5480595 США, МКИ В 01 F 03/04. Koch Engineering Chemical / Yooman N., Griffith V., Hsieh C. Li, №234188., Заявл. 28.04.94., Оpubл. 2.1.96., НКИ 261/114.1.
12. Насибуллин Р.И. Способ перегонки нефти. Патент RU 2394064, 2008.
13. Курочкин А.В. Способ стабилизации бензина. Патент RU 2513908, 2012.

14. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учебное пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 416 с.
15. Aspen Technology, Inc. HYSYS 2004.2 Operations guide, 2005. – 36 р.
16. Кафаров В.В., Перов В.Л., Мешалкин В.П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. - М.: Химия, 1974. - 343 с.
17. Губанов Н.Д., Коновалов Н.П., Салауров В.Н. Энерготехнология химических производств. - Изд. ИГТУ, Иркутск, 1994, - 86 с.
18. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа.: Энергия, 1973.-296 с.
19. Бродянский В.М., Фратшер В., Мехалек К., Эксергетический метод и его приложения. - М.: Энергоатомиздат, 1988, - 341 с.
20. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейдлин А.Е. Техническая термодинамика. М.: Энергия, 1973,-512 с.
21. Трайбус М., Эванс Р. Термoeкономическое проектирование при условии переменной структуры стоимости - В кн.: Эксергетический метод и его приложения. - М.: Мир, 1967, с. 202-232.
22. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа.: Энергия, 1973.-296 с.
23. Калинина Е.И., Бродянский В.М. Технико-экономический анализ установок разделения газовых смесей. - М.: МЭЙ', 1979, 85с.
24. Методы оптимизации и организации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем нефтеперерабатывающих производств / Э.Д. Иванчина, М.В. Киргина, Н.В. Чеканцев, И.М. Долганов, Е.С. Шарова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 160 с.

25. Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Митянина О.Е., Кузьменко Е.А. Математическое моделирование химико-технологических процессов: Учебное пособие для вузов. – Томск.: Издательство ТПУ, 2014. – 116 с.

26. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

27. Морозов В.А., Луговской А.И., Степанников С.В., Киевский В.Я., Ямпольская М.Х. Способ первичной перегонки нефти. Патент RU 2401296, 2009.

28. Мнушкин И.А., Гасанова О.И. Способ перегонки нефти. Патент RU 2484122, 2012.

29. Бурлак Г.Н. Безопасность работы на компьютере: Организация труда на предприятиях информационного обслуживания: учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 144с.

30. Временные методические рекомендации по обоснованию природоохранных затрат при производстве геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые. - М.: ВИЭМС, 1985

31. Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 03.06.2003 № 118 «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03».

32. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

33. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

34. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

35. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»

36. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. Общие поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязь.

37. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, ПОТ Р М-016-2001

38. Общая теория права (библиотека) [Электронный ресурс] // Общая теория юридической ответственности URL: <http://isfic.info>

39. ПБ 09-560-03. Правила промышленной безопасности нефтебаз и ^ складов нефтепродуктов.

40. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. "НЦ ЭНАС", М., 2005 (621.3, П-683).

41. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ. - 2008.

42. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.

43. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы». - М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

44. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.

45. СНиП 2.04.05 – 91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

46. СНиП 21–01–97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – с.12.

47. СНиП 23–05–95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995.

48. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 28.12.2016) "Об отходах производства и потребления".

49. Экология справочник [Электронный ресурс] // Способы охраны атмосферного воздуха URL: <http://ru-ecology.info>

50. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

51. ПБ 03-576-2003. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

52. ПБ 03-576-2003. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

## Приложение А

### HYSYS Environment

#### HYSYS Interface Architecture

“Basis Manager” – the Basis environment in which you can select components to work with, as well as models and correlations, according to which various (physical and thermodynamic) properties of components, material streams and heat flows should be calculated.

“Oil Characterization” – on this tab you can input available data about oil and break oil down into pseudo components.

“Main Simulation Environment” – this is a calculation interface and a flowsheet editor. It includes many types of chemical engineering equipment.

#### Function Buttons of the Main Menu

##### PFD – Process Flow Diagram

Name	Button	Description
New case		Creates a new case.
Open case		Locates and opens an existing case/template/column.
Save case		Saves the active case.
PFD (process flow diagram)		Opens the graphics screen for the current flowsheet.
Workbook		Opens the Workbook for the current flowsheet.
Navigator		Opens the Object Navigator.
Flowsheet Navigator		Opens the Flowsheet Navigator.
Dynamics Assistant		Opens the Dynamics Assistant.
Column		Opens a specific column's view.
Steady State/Dynamics		Toggles between Steady State and Dynamic modes.

Name	Button	Description
Active/ Holding Run/Stop (Steady State)		Main environment: Toggles between Active and Holding modes. Green (left) is Active. Column environment: Toggles between Run and Stop for the Column Solver. Green (left) is Run.
Integrator (Dynamics)		Integrator toggle. Toggles between Run and Stop for the Integrator, the calculation program of the Dynamic Mode. Green (left) is Run.
Basis		Enter the Basis environment.
Parent Flowsheet		Return to the parent flowsheet from a subflowsheet (in other words, the main environment from the column subflowsheet environment)
Oil Environment		Enter the Oil environment from the Basis environment.
Leave Environment		From the Oil environment, return to the Basis environment, from the Basis environment return to the Main environment.

## Working with the Basis Manager

The Manager or the **Basis Environment**  is the primary part of the HYSYS interface. In this environment you should describe chemical components, their conversions and thermodynamics of a simulated system.

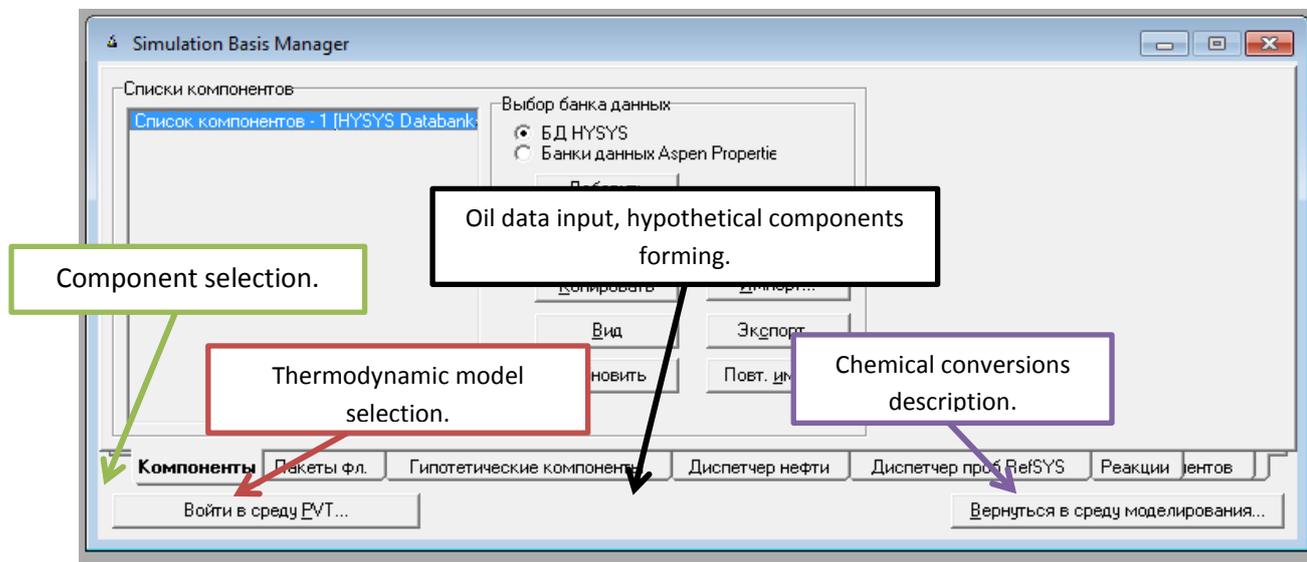


Figure 2 – The Basis environment: Main functions.

## Component selection



- **Generalized correlations** (the Chao-Seader method for phase-equilibrium constants calculation, the API method for fluid density calculation and other empirical methods).
- **Vapor pressure models** (properties of dimerized components).
- **Other models** (special HYSYS packages etc.).

Find the **Property packages** tab. Click the **Add** button and add an appropriate property package from the list.

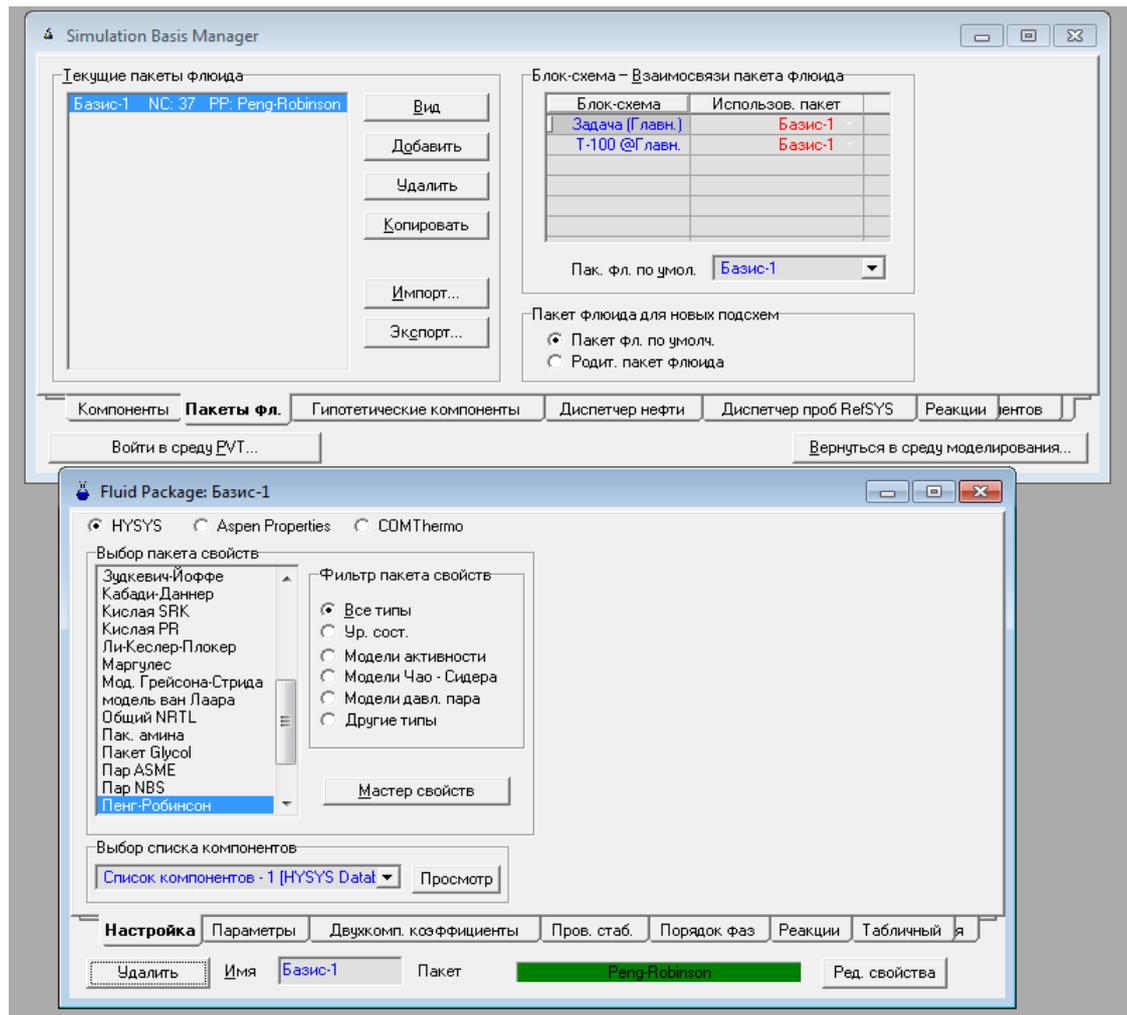


Figure 4 – Groups of thermodynamic models.

**Tabs in the Fluid Package window** contain a number of parameters.

**The Parameters tab** allows you to specify calculation options for various component properties (usually they are selected automatically, but if you want, you can change options manually).

The **Binary Coefficients tab** provides intermolecular interaction coefficients values. These values are calculated automatically, depending on selected components and thermodynamic package.

The **Reaction tab** – if chemical reactions happen in the system, they must be added to the property package (otherwise their thermodynamics won't be taken into account).

## Oil Manager

This is a special environment for setting fractional composition and other results of an oil sample's laboratory analysis.

After selecting a thermodynamic package, go to the **Oil Manager tab**, which includes the **Enter Oil Environment** button. Press that button.

## Specifying Oil Data

In the opened **Oil Characterization** window select **Available Assays (or Assay)**, and click the **Add** button (Figure 5). In the opened window select properties from the provided range and specify their values.

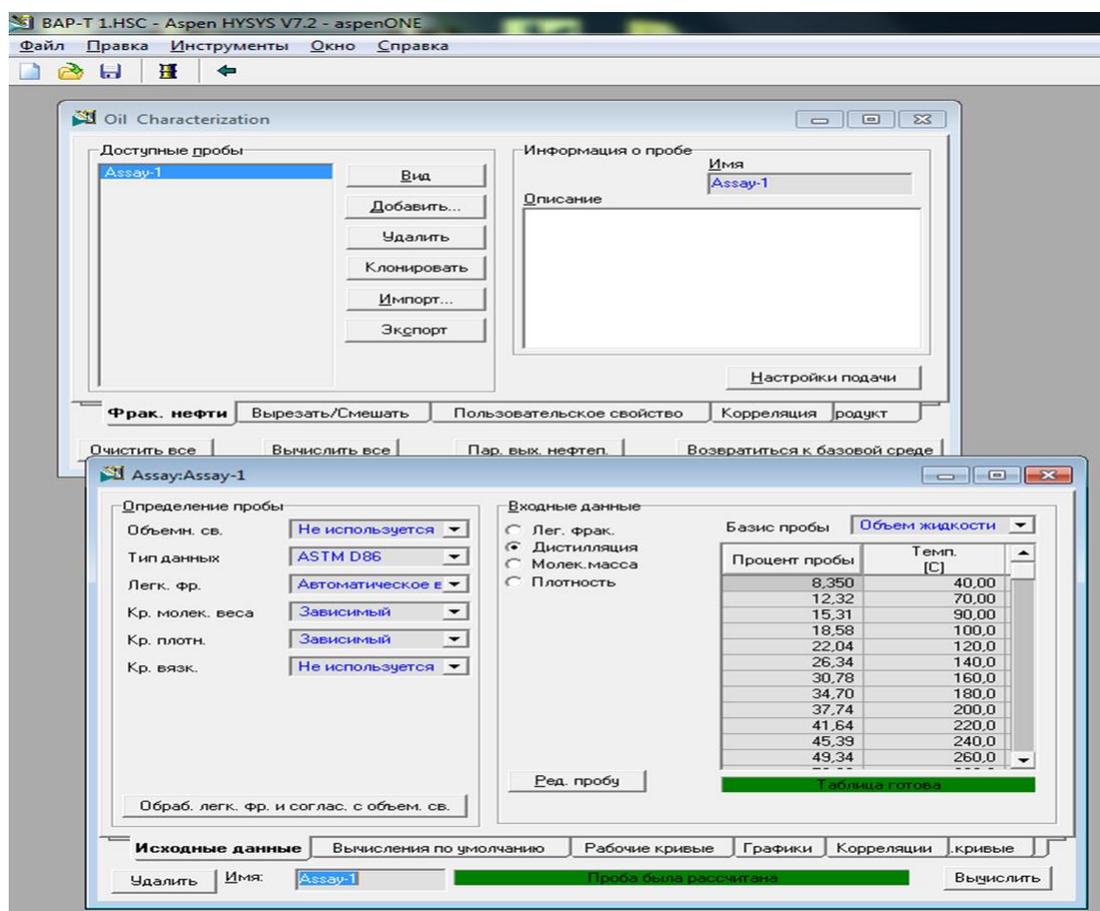


Figure 5 – Oil Characterization.

This selection is made in the Assay Definition field.

**Bulk Properties** (density, viscosity, molecular weight). If they are present, select Used, otherwise select Not Used.

**Assay Data Type** – the boiling point curve type – select TBP from the list.

**Molecular Weight, Density and Viscosity curves** – select Dependent (in this case, property values would be calculated for the same distillate yield proportions as the boiling point curve).

Enter available data values in the Input Data field. To specify end boiling points, a TBP curve must include points corresponding to 1% and 100% distillate yield proportions. The minimum number of points necessary for a calculation is 5. After entering all data, press the Calculate button.

After a calculation, a TBP curve, as well as density, viscosity, and molecular weight curves become available on the Working Curves tab. The same information is represented in graphical form in the Plots tab.

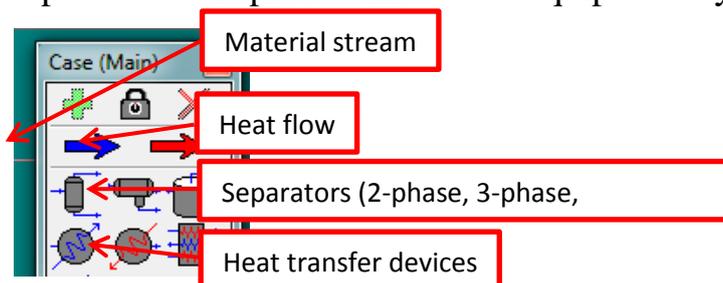
On the Correlations tab you can select correlation to calculate key properties of pseudo components. The default package is sufficient.

The Correlations tab contains a set of equations for calculation key properties of pseudo components in various temperature ranges. The default package is sufficient (no need to change anything). You can close the window.

Return to the Basis Manager . By pressing the  button, go to the Simulation Environment to calculate a process flow diagram (PFD)

### Creating and Simulating a Flowsheet

Open available process flows and equipment by pressing :



**Figure 6 – A part of PFD toolbox**

There is a special set of function buttons for working in the Simulation Environment:

Button name	Button	Function
Move/ Attach		This button controls the two graphic interface modes. The Move mode, which is set by default, allows moving operators and process flows. When this button is pressed, you are in the Attach mode, which allows attaching operators and process flows to one another.
Size		In this mode you can change size of a selected object. This object is placed into a frame with eight small white rectangles. By moving these rectangles with mouse cursor you can change the object's size.
Break Connections		When this button is pressed, you can break a connection between a process flow and an operation. Your mouse cursor changes shape when this button is pressed. Left-click any process flow part between a process flow image and an operation image, and this will break the corresponding connection.
Swap Connections		If two process flows are connected to flow chokes of the same operator, they will switch places.
Drag Zoom		Your mouse cursor changes to magnifying glass when this button is pressed. Holding the left mouse button, outline a part of a flowsheet which you want to zoom. You can also use PFD screen inspection to zoom in and out: select Mode, then Zoom, or select PFD from the menu and then select Drag Zoom.
Add Text Annotation		With this button you can add a text annotation to a flowsheet's graphic representation. When this button is pressed, your mouse cursor changes shape and a rectangular frame appears. Place the frame where you want to place the text, left-click and enter your text in the opened dialog box.
Color Scheme		With this button you can select the graphics screen's color scheme.
Quick Route		In this mode you can swiftly relocate images of a flowsheet's operations, together with attached flows. Connecting lines might overlay images of operations. When you release this button, a flowsheet will be automatically redrawn, so that lines do not overlay images.
Object Panel (Object Palette)		The Object Palette contains various flowsheet objects. Pressing this button opens/hides the object panel.

The object panel is your main tool when creating a flowsheet. Drag three material streams and two heat flows from the object panel to the graphics screen. They will correspond to a column's products and heat flows from a condensing apparatus and a reboiler. Drag a suitable column or an absorber as well. Double left-click the column and go to the column data input wizard's dialog box. Follow

the instructions. The result should be a column with attached flows and some specifications.

You can check whether the specifications you set match the initial data and, if they don't, set more or remove some of the existing specifications. After this procedure, go to the Simulation mode and press the Start button  in the column window – a simulation will start. If specifications were set properly, the object (column) status will change to Solved.

### **Column Window**

When selecting specifications, make sure that the number of degrees of freedom is 0. For this, check or clear the Active box in the specification type. The simulation continues until entered values for active specifications match values calculated in HYSYS. A specification set example is shown on the illustration. If simulation takes too long, this means that the initial estimates were poor or that specifications were set incorrectly.

### **Result Output**

There are 2 options for outputting results.

First, you can view results in an object's window. Make sure to search for relevant results in tabs and bookmarks of that window. This is convenient when information needed is not extensive.

Second, you can create reports. You can set the contents of reports, including or excluding various tables and calculation stages. Data (tables, plots, flowsheets) can be exported into third-party applications. Reports also can be saved into a file.

Open **Tools** → **Reports** in the menu. Click the **New** button, then click **Add table**.

Tables contain various properties of streams and flows (including thermal properties), operations (equipment simulation), profiles, etc. The set of output parameters must be formed.

When forming tables, pay attention to their contents (table structure for an object matches that object menu in the Simulation environment). Add all the necessary items from the offered lists and print them out or save them into a file.

## Приложение Б

### Расчет эксергии продуктовых потоков двухколонной схемы без интеграции потоков до рекуперативного теплообмена

фракция	Tн	Tк	Tcp,C	Tcp,K	Qисп, Дж/кг	lж(обр),Дж
бензин	220	78,9	149,45	422,45	36694,46399	17585,026
дизель	220	209	214,5	487,5	42924,84031	23553,63032
мазут	220	369,5	294,75	567,75	50709,74159	31059,99584
фракция	Z		P0, Па	Pu, Па	η	lп(обр), Дж
бензин	0,998		10 000	1 000	0,7	8129,530745
дизель	0,995		10 000	1 000	0,7	8105,093277
мазут	0,992		10 000	1 000	0,7	8080,65581
фракция	R	li(обр),Дж/кг				
бензин	8,314	4,69E+03				
дизель	8,314	6,55E+03				
мазут	8,314	6,60E+03				
Химическая эксергия						
Ex бензин	Ex дизель	Ex мазут				
30401,78	38206,17	45735,73				
Физическая эксергия						
	Ср, кДж/кг*С	ex(p), кДж/кг	ex(t), кДж/кг	ex(ф), Дж/кг		
бензин	2,279	3465,588187	175778,854	179244,4421		
дизель	2,625	4441,201179	186005,4348	190446,636		
мазут	3,091	5182,084002	219025,8282	224207,9122		
Поток	Физическая эксергия, Дж/кг	Химическая эксергия, Дж/кг	Эксергия, кДж/кг			
бензин	179244,44	30401,78	209,65			
Дизель	190446,64	38206,17	228,65			
Мазут	224207,91	45735,73	269,94			

## Расчет эксергии продуктовых потоков двухколонной схемы без интеграции потоков после рекуперативного теплообмена

фракция	Tн	Tк	Tср,С	Tср,К	Qисп, Дж/кг	lж(обр),Дж
бензин	220	41,95	130,975	403,975	34939,62056	15911,91706
дизель	220	60	140	413	35796,00041	16727,91303
мазут	220	90	155	428	37222,95426	18089,66001
фракция	Z		P0, Па	Pu, Па	η	lп(обр), Дж
бензин	0,997		10 000	1 000	0,7	8121,384922
дизель	0,995		10 000	1 000	0,7	8105,093277
мазут	0,993		10 000	1 000	0,7	8088,801633
фракция	R	li(обр),Дж/кг				
бензин	8,314	4,69E+03				
дизель	8,314	6,55E+03				
мазут	8,314	6,60E+03				

### Химическая эксергия

Ех	Ех дизель	Ех мазут
28720,53	31380,46	32773,54

### Физическая эксергия

	Ср, кДж/кг*С	ех(р), кДж/кг	ех(т), кДж/кг	ех(ф), Дж/кг
бензин	1,914	3403,721866	147626,4706	151030,1925
дизель	1,983	3940,598964	152948,428	156889,027
мазут	2,065	4820,934677	159273,073	164094,0077
Поток	Физ. эксергия, Дж/кг	Хим. эксергия, Дж/кг	Эксергия, кДж/кг	
бензин	151030,19	28720,53	179,75	
Дизель	156889,03	31380,46	188,27	
Мазут	164094,01	32773,54	196,87	

## Расчет эксергии продуктовых потоков в схеме Петлюка до рекуперативного теплообмена

фракция	Tн	Tк	Tср,С	Tср,К	Qисп, Дж/кг	Iж(обр),Дж
бензин	262	42,58	152,29	425,29	36964,82347	14192,63567
дизель	262	231,5	246,75	519,75	46041,09156	22832,30659
мазут	262	402	332	605	54356,21309	30816,82825
фракция	Z		P0, Па	Pu, Па	η	Iп(обр), Дж
бензин	0,997		10 000	1 000	0,7	8121,384922
дизель	0,994		10 000	1 000	0,7	8096,947455
мазут	0,999		10 000	1 000	0,7	8137,676567
фракция	R	Iп(обр),Дж/кг				
бензин	8,314	6,59E+03				
дизель	8,314	6,42E+03				
мазут	8,314	6,02E+03				

### Химическая эксергия

Ех	Ех дизель	Ех мазут
бензин		
28900,90	37353,18	44976,74

### Физическая эксергия

	Ср, кДж/кг*С	ех(р), кДж/кг	ех(т), кДж/кг	ех(ф), Дж/кг
бензин	2,017	4018,054211	211762,3794	215780,4337
дизель	2,71	4958,097708	284519,6075	289477,7052
мазут	3,192	5734,061155	335124,2019	340858,263
Поток	Физ. эксергия, Дж/кг	Хим. эксергия, Дж/кг	Эксергия, кДж/кг	
Бензин	215780,43	28900,90	244,68	
Дизель	289477,71	37353,18	326,83	
Мазут	340858,26	44976,18	385,83	

## Расчет эксергии продуктовых потоков в схеме Петлюка после рекуперативного теплообмена

фракция	Tн	Tк	Tср,С	Tср,К	Qисп, Дж/кг	lж(обр),Дж
бензин	262	30	146	419	36366,24783	13626,49382
дизель	262	60	161	434	37794,96748	14978,65071
мазут	262	90	176	449	39227,99515	16337,71736
фракция	Z		P0, Па	Pu, Па	η	lп(обр), Дж
бензин	0,997		10 000	1 000	0,7	8121,384922
дизель	0,994		10 000	1 000	0,7	8096,947455
мазут	0,999		10 000	1 000	0,7	8137,676567
фракция	R	li(обр),Дж/кг				
бензин	8,314	6,59E+03				
дизель	8,314	6,42E+03				
мазут	8,314	6,02E+03				

### Химическая эксергия

Ех		
бензин	Ех дизель	Ех мазут
28334,75	29499,52	30497,63

### Физическая эксергия

	Ср, кДж/кг*С	ех(р), кДж/кг	ех(т), кДж/кг	ех(ф), Дж/кг
бензин	1,951	3968,682959	204833,1196	208801,8026
дизель	1,979	4748,849017	207772,8056	212521,6546
мазут	2,063	5583,381457	216591,8636	222175,245
Поток	Физ. эксергия, Дж/кг	Хим. эксергия, Дж/кг	Эксергия, кДж/кг	
Бензин	208801,80	28334,75	237,14	
Дизель	212521,65	29499,52	242,02	
Мазут	222175,25	30497,63	252,67	

## Приложение В

### Календарный план-график проекта

Обозначения: Руководитель –  ; Магистрант – 

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>Ki</sub> , кал. Дн.	Продолжительность выполнения работ																													
				сент.			окт.			ноя.			дек.			январ.			февр.			март			апрель			май			июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3																														
2	Выбор направления исследований	Руководитель, магистрант	5																														
3	Календарное планирование работ по теме	Магистрант	4																														
4	Изучение литературы, вычисление приближенных значений	Магистрант	110																														
5	Корректировка математической модели	Руководитель, магистрант	40																														

