

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

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»
Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процесса низкотемпературной сепарации газа
УДК 665.622.2-026.656

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Чиркина Наталья Аркадьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Долганов Игорь Михайлович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Юрьев Егор Михайлович	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), СДИО(п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2), СДИО (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), СДИО (1.2, 2.1, 4.5)
P4	Разрабатывать <i>новые</i> технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, <i>проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды</i>	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) СДИО (п.1.3, 4.4, 4.7)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), СДИО (п. 2.2)
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, <i>выводить на рынок новые материалы</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) СДИО (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), СДИО (п. 2.5)

P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), СДИО (п. 2.4)
P9	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14) , Критерий 5 АИОР (п.2.2), СДИО (п. 3.2, 3.3)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, <i>демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве</i> , ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) СДИО (п. 4.7, 4.8, 3.1)

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

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»
 Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 Доцент ОХИ ИШПР
 _____ Юрьев Е.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Чиркиной Наталье Аркадьевне

Тема работы:

Исследование процесса низкотемпературной сепарации газа	
Утверждена приказом директора ИШПР (дата, номер)	от 05.03.18г. № 1489/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – технология низкотемпературной сепарации газа. Сырьем процесса является природный газ. Режим работы – непрерывный Установка низкотемпературной сепарации предназначена для отделения газового конденсата от газа при низких температурах.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	<ol style="list-style-type: none"> 1 Литературный обзор <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Основы технологии подготовки газа и газового конденсата 1.2 Методы осушки природного газа 1.3 Методики расчета процесса низкотемпературной сепарации 2 Объект и методы исследования <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Технологическая схема низкотемпературной сепарации газа и газового конденсата 2.2 Физико-химические процессы подготовки газа (сепарация, теплопередача, дросселирование) 3 Экспериментальная часть <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Разработка имитационной динамической модели

	3.2 Расчет ДНП смеси газового конденсата 3.3 Моделирование и интенсификация работы теплообменного оборудования 3.4 Проектирование газосепаратора третьей ступени процесса низкотемпературной сепарации 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Социальная ответственность Заключение Список использованной литературы
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Технологическая схема процесса низкотемпературной сепарации, чертеж сепаратора, аналитические графики по данным, графики по модели, графики по проделанным расчетам
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	доцент ОСГН, к.э.н., Рыжакина Татьяна Гавриловна
«Социальная ответственность»	ассистент ООД ШБИП, Немцова Ольга Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	09.02.2018 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Долганов Игорь Михайлович	к.т.н.		09.02.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Чиркина Наталья Аркадьевна		09.02.2018г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Чиркиной Наталье Аркадьевне

Школа	ИШПР	Отделение	Химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Проведение предпроектного анализа. Выполнение SWOT-анализа.</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Разработан календарный план проекта. Определён бюджет НИИ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Спроектирована конкурентоспособная разработка, отвечающая требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.02.2018г.
---	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Чиркина Наталья Аркадьевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Чиркиной Наталье Аркадьевне

Школа	ИШПР	Отделение	Химической инженерии
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объект исследования – технология низкотемпературной сепарации газа Область применения – нефтегазовая промышленность</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p><i>1.1 Нефть относится к 3 классу опасности; Вредные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Повышенный уровень вибрации СН 2.2.4/2.1.8.566-96;</i> – <i>Повышенный уровень шума СанПиН 2.2.4.3359-16;</i> – <i>Недостаточная освещенность рабочей зоны ГОСТ Р 55710-2013;</i> – <i>Повышенная загазованность рабочей зоны ГОСТ 31378-2009.</i> <p><i>1.2 Опасные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Электрическое напряжение ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ;</i> – <i>Опасность термических ожогов РД 153-34.0-03.702-99;</i> – <i>Опасность взрыва и пожара ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ;</i> <p><i>СИЗ: противогазы, защитные рукавицы, мази и пасты, очки, защитные противошумные наушники ГОСТ 12.4.068.</i></p> <p><i>Средства коллективной защиты: приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением.</i></p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 	<p><i>- вредные вещества (метан, этан, пропан, бутан, пентан, азот, окись углерода, двуокись углерода, оксиды азота, метанол), которые выделяются или используются вовремя</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p><i>производства;</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - химическое загрязнение водотоков в результате удаления неорганических и органических отходов в канализационную сеть; - выброс пожароопасных веществ в атмосферу в результате повышения температуры в аппаратах выше регламентного; - отходы; - разработаны решения по обеспечению экологической безопасности.
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения-пожар, взрыв, разрушения зданий в результате разрядов атмосферного электричества, ураган, землетрясения; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий: <ol style="list-style-type: none"> 1. использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла 2. в случае стихийных бедствий отключение воды и электричества 3. организационная эвакуация работающих.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014) -организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.02.2018г.
--	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О. А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Чиркина Наталья Аркадьевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 92 стр., 21 рис., 23 табл., 43 источника литературы, 4 прил.

Ключевые слова: НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СЕПАРАЦИЯ, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ, ИМИТАЦИОННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.

Объектом исследования является технология низкотемпературной сепарации газа.

Цель работы – повышение эффективности работы установки низкотемпературной сепарации газа с применением имитационной динамической модели, а также расчет протекающих процессов, повышающих адекватность модели.

В работе выполнен анализ основных процессов и факторов, влияющих на работу установки низкотемпературной сепарации. На основе существующих математических моделей основных физических процессах, протекающих в аппаратах, был предложен комплексный математический аппарат, способный описывать данный процесс.

Основной метод, применяемый в работе – метод математического моделирования. Модель объекта строилась с учетом физико-химических закономерностей протекания процесса.

Областью применения модели является нефтегазовая промышленность.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2007.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 5542-14. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия [Текст]. – введ. 01.07.2015. – М.: Издательство стандартов, 2014. – 11 с.

ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения [Текст]. - введ. 01.01.1995.- М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.

ГОСТ Р 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения [Текст]. – введ. 03.01.2017. – М.: Стандартиформ, 2016. – 12 с.

Обозначения и сокращения

НТС – низкотемпературная сепарация;

НТК – низкотемпературная конденсация;

НТА – низкотемпературная абсорбция;

ТТР – температура точки росы;

СТО – стандарт организации;

ГОСТ – государственный стандарт;

ГПП – газы горючие природные;

УДСК – установка деэтанзации и стабилизации конденсата;

ДНП – давление насыщенных паров;

ТЭГ – триэтиленгликоль;

ДЭГ – диэтилгликоль.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	14
1 Обзор литературы	16
1.1 Основы технологии подготовки газа и газового конденсата	16
1.1.1 Требования к подготовленному природному углеводородному газу	16
1.1.2 Установки подготовки газа	16
1.1.3 Удаление из газа влаги, конденсата, сероводорода и кислых газов	18
1.1.4 Измерение давления насыщенных паров	20
1.2 Методы осушки природного газа	21
1.2.1 Абсорбционный метод осушки	21
1.2.2 Адсорбционный метод осушки	23
1.2.3 Метод низкотемпературной сепарации	24
1.2.4 Метод низкотемпературной конденсации	26
1.3 Методики расчета процесса низкотемпературной сепарации	27
1.3.1 Расчет фазового равновесия	28
1.3.2 Расчет давления насыщенных паров	29
1.3.3 Расчет теплообменного оборудования	29
1.3.4 Другие расчетные параметры	30
2 Объект и методы исследования	31
2.1 Технологическая схема низкотемпературной сепарации газа и газового конденсата	31
2.2 Физико-химические процессы подготовки газа	32
3 Экспериментальная часть	36
3.1 Разработка имитационной динамической модели	36
3.1.1 Анализ поведения системы на модель процесса низкотемпературной сепарации	38
3.1.2 Изменение основных технологических параметров в аппаратах после сепаратора первой	41

3.2	Расчет ДНП смеси газового конденсата	44
3.3	Моделирование и интенсификация работы теплообменного оборудования	48
3.4	Проектирование газосепаратора первой ступени процесса низкотемпературной сепарации	51
3.4.1	Технологический расчет газового сепаратора	51
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	58
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	58
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	59
4.1.3	SWOT-анализ	61
4.2	Планирование научно-исследовательских работ	63
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	63
4.2.2	План проекта	63
4.2.3	Бюджет научно-технического исследования	65
4.3	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	70
4.3.1	Оценка сравнительной эффективности исследования	70
5	Социальная ответственность	72
5.1	Производственная безопасность	73
5.1.1	Анализ выявленных вредных факторов производственной среды	74
5.1.1.1	Недостаточная освещенность рабочей зоны	74
5.1.1.2	Повышенный уровень шума	76
5.1.1.3	Повышенный уровень вибрации	77
5.1.1.4	Отклонение параметров микроклимата в помещении	77
5.1.2	Анализ опасных факторов производственной среды	79
5.1.2.1	Механические опасности	79
5.1.2.2	Электробезопасность	79

5.1.2.3 Термические опасности	80
5.1.2.4 Пожаровзрывобезопасность	80
5.2 Экологическая безопасность	81
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
5.4 Правовые вопросы обеспечения безопасности	86
Заключение	87
Список используемых источников	88
Список публикаций	93
Приложение А	94
Приложение Б	96
Приложение В	97
Приложение Г	100

ВВЕДЕНИЕ

Природный газ в современном мире считают одним из наиболее распространенных источников энергии. Прогнозируют значительный рост потребления газа в мире, как источника энергии, тем самым отход от других ресурсов.

Доказательством перехода на газовые ресурсы может служить масштабный проект, разработанный в 2014 году между Россией и Китаем, «Сила Сибири». Данный проект направлен на экспорт газа в Китай после 2019 года.

Начиная с 2009 года, Россия уменьшает объемы импортируемого газа. Это подтверждается увеличением собственной добычи газа. Также мировое потребление природного газа в 2016 году по сравнению с прошлым годом возросло на 63 млрд м³ [1]. Все эти сведения подтверждают рост роли природного газа.

Природный газ должен пройти промышленную подготовку для соответствия требованиям по качеству и энергетическим характеристикам. Основным принципом, лежащим в данном процессе подготовки газа, является низкотемпературная сепарация.

Технология базируется на охлаждении природного газа и отделения воды и жидких углеводородов. Однократная конденсация реализуется с помощью эффекта Джоуля-Томсона при температурах от минус 10 до минус 25 °С. Сепарация газа необходима для предотвращения от попадания влаги и твердых частиц в промышленное технологическое оборудование и газосборные сети.

При низком уровне сепарации возникает ряд проблем, а именно, низкая эффективность газопроводов, увеличение расхода энергии на сжатие газа, возможность возникновения в промышленных системах сбора и транспортировки газа газогидратных пробок. В результате всего этого происходит рост эксплуатационных затрат [2].

Исходя из этого, такой процесс повышения качества газа, как низкотемпературная сепарация, обладает высокой актуальностью.

Целью данной работы является разработка адекватной имитационной динамической модели, а именно: исследование процесса сепарации, определение давления насыщенных паров сырого конденсата, построение динамической модели теплообменника типа «противоток» и изучения оптимальных параметров ведения процесса с помощью рассчитанных показателей качества полученного продукта.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Основы технологии подготовки газа и газового конденсата

Месторождения, добываемые природный газ с нефтью, должны быть оборудованы специальными аппаратами для отделения газа от жидкости и примесей. На разработанных месторождениях располагаются системы сбора газа и газового конденсата и оборудования подготовки. Существуют различные схемы сбора: линейная, кольцевая и групповая. Выбор определенной схемы сбора газа зависит от различных факторов: состав и свойства добываемого газа, геологическая обстановка месторождения, способ подготовки и требования, выдвигаемые потребителями к качеству газа, для транспортировки [3].

1.1.1 Требования к подготовленному природному углеводородному газу

Существует ряд определенных документов, выдвигающих конкретные требования к товарному природному газу. Государственными стандартами и стандартами организаций регламентируются такие показатели, как состав, физические свойства, количественное содержание тех или иных компонентов, условия хранения и транспортировки, например:

- ГОСТ 5542-14 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия»;
- СТО Газпром 089-2010 «Газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным газопроводам. Технические условия».

Некоторые требования по горючему природному газу из СТО Газпром представлены в таблицах А 1 и А 2 (прилож. А).

1.1.2 Установки подготовки газа

Каждая современная скважина должны быть оборудована газосборными коллекторами, которые соединяются с установками комплексной подготовки газа (УКПГ). Также оборудование на месторождении должно включать установку предварительной подготовки газа (УППГ), комплексной и головные

сооружения (ГС). Все данное оборудование должно быть соединено соединительными газопроводами между собой [6].

УППГ – установка, необходимая для сбора неочищенного газа с кустов скважин, выполняющая первичную сепарацию от воды и твердых примесей, вторичную сепарацию от газового конденсата, нагрев газа и передача на магистральный трубопровод и в региональную сеть газоснабжения. Также осуществляет хранение и коммерческий отпуск газового конденсата, учет получаемого и отпускаемого газа и конденсата [7].

С помощью УКПГ осуществляют подготовку газа по требованиям, предъявляемым к товарной продукции. Главными показателями качества газа, подаваемого в магистральный газопровод, являются температуры точки росы по влаге и по углеводородам. Температура точки росы показывает значение температуры, при которой влага, содержащаяся в объеме газа, начнет конденсироваться [8].

Также на УКПГ достигают значений свойств газа, регламентируемых ОСТ: его теплота сгорания, допустимое содержание сернистых соединений и расчетное октановое число.

Обработка на УКПГ включает в себя следующие этапы: абсорбционную или адсорбционную сушку, низкотемпературную сепарацию или абсорбцию и масляную абсорбцию. Поэтому в данной установке существуют различные блоки, выполняющие определенные функции:

- Блок предварительной очистки (сепарации): извлечение из газа капель воды, жидких углеводородов и механических примесей;
- Технологические установки осушки, охлаждения и очистки газа;
- Дожимные компрессорные станции: установки рабочих параметров технологии обработки газа;
- Вспомогательные системы производственного назначения: обеспечение связью, водой, электричеством и теплом, защитой от пожара и электрохимических воздействий и парки хранения используемых реагентов.

Выбор установки и ее роль зависит как от характера месторождения, так и от многих других факторов. УКПГ выполняет всю подготовку газа на чисто газовом месторождении, и при этом УППГ только измеряет объемы продукции, пришедшей от каждой скважины. Если месторождение газоконденсатное, то УППГ выполняет также извлечение влаги и конденсата.

1.1.3 Удаление из газа влаги, конденсата, сероводорода и кислых газов

Установки подготовки газа, имеющие оборудования для удаления влаги и конденсата, работают с применением одной из трех технологических процессов: низкотемпературной сепарации, конденсации абсорбционной или адсорбционной сушки. В условиях низких температур и при наличии в газе конденсатов НТС является одним из наиболее применяемых процессов. При повышенном содержании конденсатов также используют НТА.

Месторождения с повышенным содержанием в добываемой продукции сероводорода и углекислого газа оборудуют специальными установками, очищающими газ до требуемых значений качества по составу, предъявляемых определенными стандартами. Очистка от этих компонентов необходима из-за ядовитости и коррозионной активности. Также сероводород способствует снижению активности катализаторов, применяемых для переработки газов, т.е. отравляет их [9, 10].

Для удаления сероводорода и диоксида углерода из газа наиболее часто используют следующие методы:

- Удаление за счет физического растворения кислых компонентов в органическом абсорбенте (ацетон, трибутилфосфат);
- Удаление за счет растворения и протекания химических реакций между сероводородом и абсорбентом (смесь сульфинола, диизопропаноламина и воды);
- Удаление сероводорода и углекислого газа за счет химического взаимодействия с активной частью абсорбента (моноэтаноламин, диэтаноламин и тиэтаноламин);

- Необратимое превращение сероводорода в серу в ходе окислительного процесса;
- Удаление компонентов газа в результате адсорбции твердым поглотителем.

Выбор метода на практике происходит в зависимости от таких факторов, как: состав, качество товарной продукции, степень очистки и область применения товарного газа, а также экономика производства и многое другое.

Наиболее применяемыми и распространенными в мире являются абсорбционные методы, которые используют для очистки больших газовых потоков.

Хемосорбционные методы обработки обладают высокой и надежной степенью очистки газа, а также высоким качеством получаемой товарной серой.

Методы, в основе которых лежит физическая абсорбция, т.е. растворение, отличаются способностью одновременно удалять из газа не только H_2S , но и CO_2 , сероорганические соединения – COS , CS_2 , меркаптаны и др.

Но, так как при использовании физических абсорбентов достигается значительно высокое парциальное давление над раствором, сложно достичь необходимой степени очистки. Поэтому в мировой практике нашел широкое применение метод хемосорбции с использованием аминовых процессов.

В основном, в данном методе применяется диэтанолламин (ДЭА), так как моноэтанолламин (МЭА) может вступить в реакцию с компонентами, находящимися в исходном газе, в результате происходит значительная потеря реагента [11].

На рис. 1.1 представлена принципиальная схема абсорбционной очистки, производимой с помощью растворов этаноламинов.

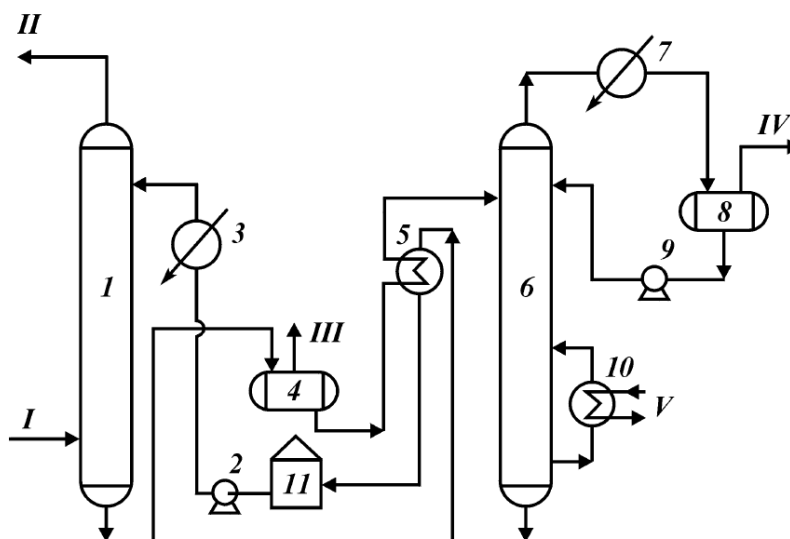


Рисунок 1.1 – Схема однопоточной очистки газа растворами этаноламинов

1– абсорбер; 2, 9 - насосы; 3, 7 – холодильники; 4 – экспанзер; 5 – теплообменник; 6 – десорбер; 8 – сепаратор; 10 – кипятильник; 11 – емкость регенерированного амина;
 I – газ на очистку; II - очищенный газ; III – экспанзерный газ; IV – кислый газ; V – водяной пар;

Газ, поступающий на очистку, подается в нижнюю часть абсорбционной колонны. В верхнюю часть абсорбера направляют охлажденный водой или воздухом и прошедший через десорбер раствор конденсата, который вышел с низа абсорбера и был подогрет в теплообменнике. Конденсатом в данном случае является насыщенный кислыми газами раствор этаноламинов.

Экспанзер, предусмотренный в данной схеме процесса, необходим для отделения углеводородов и частично кислых компонентов, растворенных в абсорбенте.

Месторождения, на которых добывается газ с высоким содержанием сероводорода, в большинстве случаев содержат установки получения элементарной серы [12]. Такие установки способствуют уменьшению затрат на очистку газа, а также производят полезный во многих отраслях продукт.

1.1.4 Измерение давления насыщенных паров

Так как газ и газовый конденсат – это смеси различных углеводородов и других соединений, очень сложно определить конкретное значение температур

охлаждения. Поэтому при подготовке газового конденсата включают приборы для уточнения давления насыщенных паров.

Существуют требования по значению данного параметра в зимнее и летнее время. Для того, чтобы при осуществлении первичной подготовки газа или газового конденсата при охлаждении до отрицательной температуры ДНП не превысило требуемого значения, в исходной смеси пытаются уменьшить содержание легких жидких углеводородов (ЛЖУ).

От ДНП зависят такие параметры, как: качество товарного продукта, физические характеристики хранения и транспортировки, а также и выход продукции [13].

1.2 Методы осушки природного газа

При нахождении в газе паров воды образуются гидраты, что негативно влияет на аппараты и коммуникации между установками переработки и транспорта газа. Для предотвращения этого газ необходимо подготавливать к транспортировке по газопроводам. Обязательным процессом, используемым для подготовки газа, является осушка.

В основном газы содержат то или иное количество паров воды при определенных величинах давления и температуры. Если это количество максимальное, то такой газ называется влагонасыщенным. С помощью осушки из газов и газовых смесей удаляют влагу при определенных технологиях и в соответствующих оборудовании для предотвращения гидратообразования и появления ледяных пробок. Наиболее распространенные методы осушки основаны на одном из перечисленных процессов: абсорбции, адсорбции, низкотемпературной сепарации или конденсации [14].

1.2.1 Абсорбционный метод осушки

Абсорбционная технология осушки газа основана на использовании жидких поглотителей, т.е. происходит абсорбция влаги и конденсата абсорбентами, а именно, водными растворами гликолей: ДЭГ и ТЭГ. Данные абсорбенты обладают следующими преимуществами: хорошей взаиморастворимостью с водой, легкостью регенерации, малой вязкостью и

неспособностью к пенообразованию, а также минимальным влиянием на оборудование, т.е. низкой коррозионной способностью.

Основным устройством для проведения данного процесса является абсорбционная колонна, которая включает в себя три секции, расположенные сверху вниз: отбойная, абсорбционная (поглотительная) и сепарационная.

Установка для абсорбционной осушки газа состоит из следующего оборудования: абсорбер, сепаратор, колонна регенерации, теплообменники, емкости, фильтры и насосы.

На рис. 1.2 представлена принципиальная схема установки осушки газа абсорбционным методом.

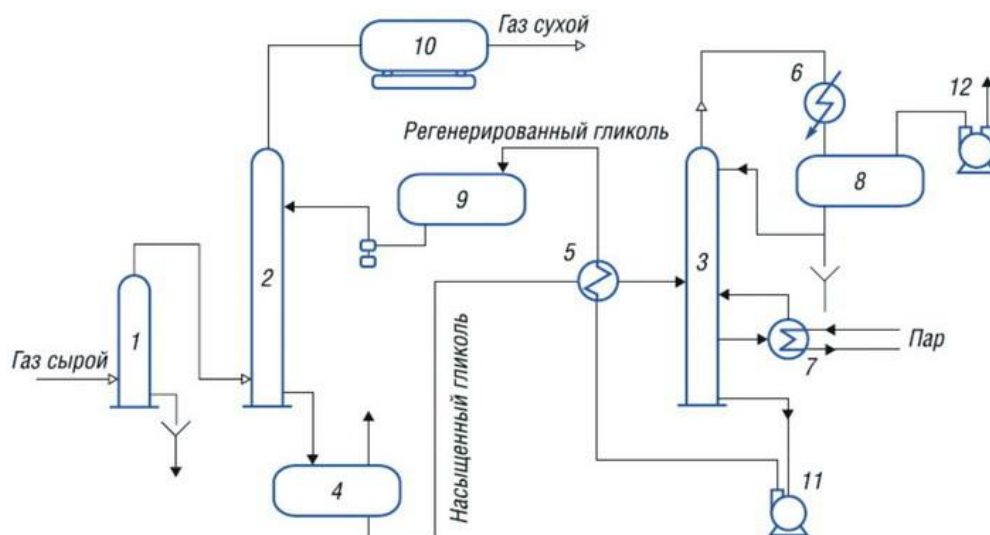


Рисунок 1.2 – Схема установки абсорбционной осушки газа

1 – сепаратор; 2 – абсорбер; 3 – колонна регенерации; 4, 8, 9 - емкости; 5, 6, 7 – теплообменники; 10 – фильтр; 11, 12 – насосы;

Данная технологическая схема начинается с сепаратора, в котором извлекается жидкая фаза. Отделенный газ поступает в абсорбционную колонну снизу вверх, где встречается с противоположно движущимся потоком абсорбента. В средней, поглотительной, секции абсорбера протекает основной процесс абсорбции. В результате чего, из верхней части колонны выходит осушенный газ, а из нижней – абсорбент, насыщенный влагой.

После абсорбера раствор ДЭГ направляется в регенерационную колонну, где восстанавливается при нагревании и выпаривании воды. Данный

процесс обладает определенной сложностью и потребляет большую часть энергии.

Для устранения мелкодисперсных капель ДЭГ, осушенный газ после абсорбционной колонны проходит через фильтр. Но неотделенный абсорбент уносится вместе с газом через магистральный газопровод потребителю [15].

1.2.2 Адсорбционный метод осушки

При адсорбции влаги поглощение происходит твердым веществом, а точнее адсорбентом. Такие поглотители, как силикогели, активированные угли и цеолиты, являются твердыми пористыми веществами и имеют развитую удельную поверхность [16].

Осушку проводят на установке, включающей две и более адсорбционные колонны. При этом в одном адсорбере протекает процесс удаления влаги, а в другом регенерации адсорбентов.

Технологическая схема установки осушки газа в результате адсорбции представлена на рисунке 1.3.

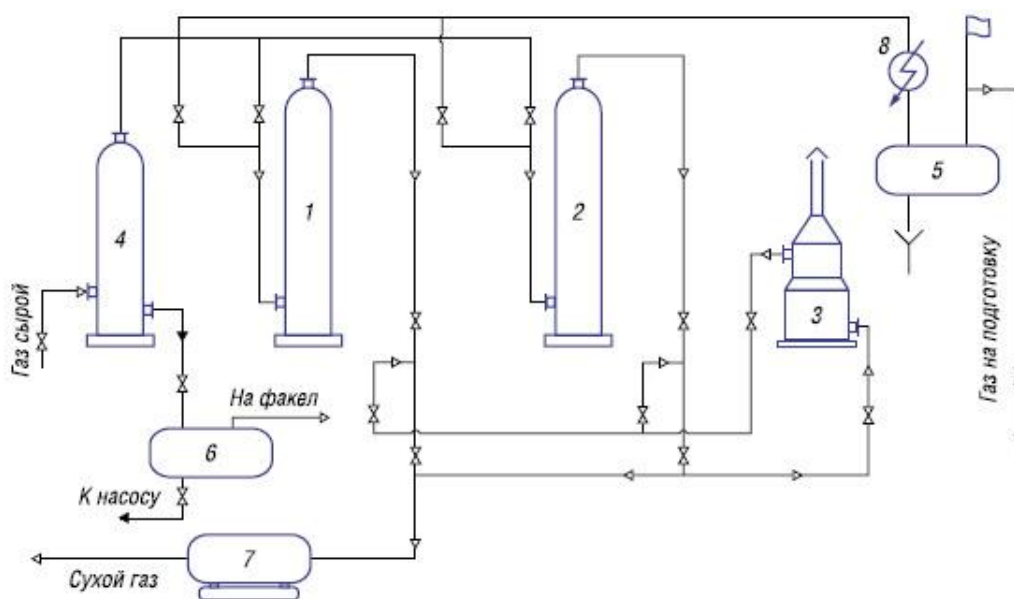


Рисунок 1.3 – Схема установки абсорбционной осушки газа

1,2 – адсорберы; 3 - подогреватель; 4 – сепаратор; 5, 6 – емкости; 7 – фильтр; 8 – холодильник.

Сырой газ, прошедший через входной сепаратор, поступает в аппарат, работающий в режиме адсорбции. При этом газ проходит через слой

поглотителя, в результате чего происходит очищение от паров воды и конденсата. В дальнейшем газ проходит через фильтр и транспортируется через магистральный газопровод потребителю.

После того, как аппарат отработает около 8 часов в этом режиме, он переключается на режим регенерации адсорбента. При этом происходит поглощение влаги и конденсата нагретым до 180-200° С сухим газом, который потом идет на повторную осушку. Восстановление адсорбента протекает в течение 6-7 часов, при этом необходимо еще 8 часов для того, чтобы колонна остыла [17].

Хоть данный метод обладает некоторыми техникоэкономическими сложностями, он является более эффективным по сравнению с абсорбцией. При использовании данного метода производители добиваются снижения точки росы. Поэтому осушка адсорбционным методом имеет большую популярность и распространенность, тем более на месторождениях с низкими климатическими температурами [18].

1.2.3 Метод низкотемпературной сепарации

Низкотемпературная сепарация – это наиболее распространенный и эффективный процесс, при котором происходит отделение высококипящих компонентов и влаги из сырого газа при его охлаждении до температур от 0 до -30°С [19].

Охлаждение газа осуществляется в результате его расширения с помощью «дроссель-эффекта», проходя через штуцер. Изменение температуры газа происходит в результате снижения давления на дросселе, который является для потока газа препятствием. Природный газ испытывает положительный эффект при дросселировании, т.е. его температура понижается.

На рисунке 1.4 показана принципиальная схема установки низкотемпературной сепарации газа.

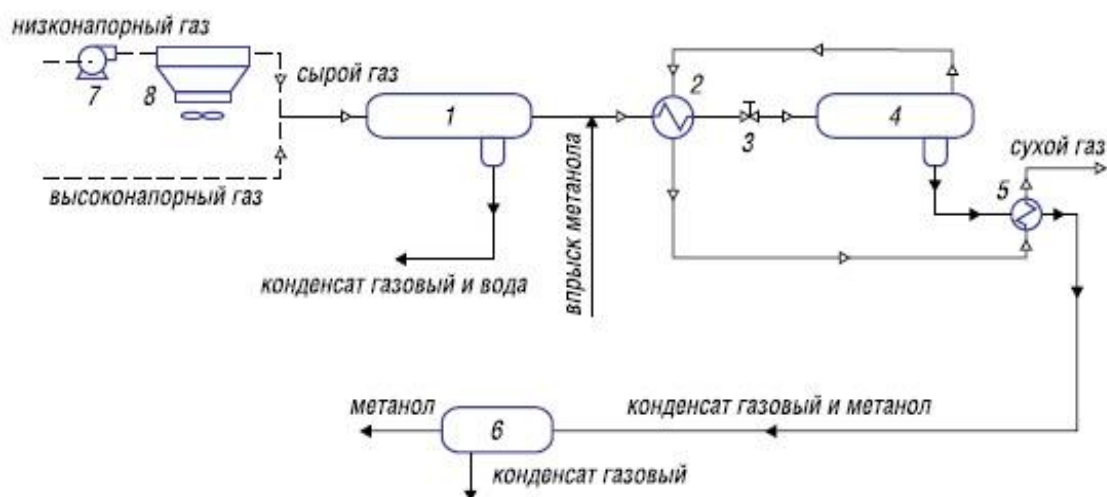


Рисунок 1.4 – Схема установки низкотемпературной сепарации газа

1, 4 – сепараторы; 2, 5 – теплообменник; 3 – дроссель; 6 – разделитель; 7 – насос; 8 – емкость;

Сырой газ с пункта сбор проходит через сепаратор первой ступени, где происходит предварительное извлечение жидкости. Газовый поток насыщают метанолом для предотвращения гидратообразования. После отсепарированный газ направляют для рекуперации холода, полученного от встречного потока газа с сепаратора второй ступени. В результате чего газ понижает свою температуру на 10°C и более.

После газ, проходя через дроссель, при изменении давления в результате эффекта Джоуля-Томсона также охлаждается. И уже после направляется в низкотемпературный сепаратор, в котором происходит отделение воды и жидких углеводородов от газа, а газовый поток проходит через теплообменники и направляется товарной продукцией в газопровод для транспортировки потребителю.

Данной установке присущи следующие недостатки: большие габаритные размеры, масса, понижение в процессе добычи газа свободного перепада давления, из-за чего необходимо увеличивать температуру сепарации, и использование опасных реагентов [20].

Понижение давления происходит на поздних стадиях разработки месторождения, поэтому становится актуальным устанавливать специальные холодильные установки, что ведет за собой рост капитальных затрат.

1.2.4 Метод низкотемпературной конденсации

Метод низкотемпературной конденсации отличается от метода НТС более низкой температурой охлаждения (до -120°C). Выбор температуры охлаждения зависит от необходимой заказчику глубины извлечения компонентов из газа. Данная установка обладает высокой степенью извлечения и чистотой товарной продукции.

Данный процесс применим, когда необходимы дополнительные источники холода при снижении давления пласта, а добиваются определенной степени охлаждения с помощью турбодетандера. При добавлении в схему турбодетандерного агрегата (ТДА) температура газа снижается в 2-4 раза больше, чем на установке НТС с эжектором [19].

Газ в турбодетандерном агрегате в результате прохождения через сужающий аппарат повышает скорость в 10 и более раз. В ходе ускорения потока газа происходит превращения потенциальной энергии в кинетическую, после которого газ направляется в турбодетандер, в котором приводит в движение его рабочий вал. Механическая энергия вращения колеса направлена для того, чтобы привести в движение компрессор, установленный на валу.

При внедрении в схему ТДА снижаются эксплуатационные затраты, повышается эффективность установки, но на отечественных производствах они не так широко применяются, как в зарубежных странах. Это происходит из-за высокой стоимости и отсутствия надежности конструкций, произведенных отечественными производителями.

На рисунке 1.5 показана схема установки низкотемпературной конденсации [21].

в результате переходных процессов, которые характеризуются постоянным стремлением установить в системе стационарный режим с новыми значениями управляющих параметров. Поэтому необходимо отслеживать зависимости различных переходных процессов от управляющих параметров и времени.

Расчет данных процессов при моделировании осуществляется благодаря ряду законов и зависимостей.

1.3.1 Расчет фазового равновесия

Протекающие массообменные процессы в большинстве случаев рассчитываются через закон фазового равновесия, основной характеристикой которого является константа фазового равновесия (КФР). Данная величина выражается как отношение равновесных молярных концентраций паровой и жидкой фазы:

$$k_i = \frac{y_i}{x_i}; \quad (1.1)$$

КФР зависит от многих параметров свойств системы, основными из которых являются температура и давление.

Для определения данной характеристики существуют различные методики, которые отличают друг от друга количеством исходной информации, сложностью вычисления и точностью.

Например, K_i можно определить через отношение давлений насыщенного пара компонента и давления во всей системе:

$$k_i \approx \frac{P_i}{P}. \quad (1.2)$$

Также существуют методы для уточнения расчетов КФР: метод Шилова, Тека-Стила.

Вычисление КФР для многокомпонентных реальных газов осуществляются с помощью уравнений состояния. Исследование первого знаменитого уравнения Ван-дер-Ваальса способствовало появлению новых более точных, а также более сложных уравнений состояния. Случаи, когда необходимо использовать то или иное уравнение состояния уточняются в монографии, описывающей модели, методы и алгоритмы, позволяющие

повысить эффективность вычислительных процессов расчета фазового равновесия многокомпонентных систем [23].

Сейчас наиболее применяемыми являются уравнение Соава-Редлиха-Квонга:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V(V+b)}, \quad (1.3)$$

а также уравнение Пенга–Робинсона [24]:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)+b(V-b)}, \quad (1.4)$$

1.3.2 Расчет давления насыщенных паров

Для расчета давления насыщенных паров парожидкостной многокомпонентной смеси используют различные закономерности [25]. Наиболее применяемой и распространенной является методика «Смешение давление паров по Рейду», которая определяет давление всей смеси в зависимости от объемных долей и давления каждого компонента.

Исходя из этих, значений можно найти индекс смешения давления паров (ИСДП) по следующей зависимости:

$$\text{ИСДП} = (\text{ДП} / 6,8974)^{1,25}. \quad (1.5)$$

Для каждого компонента необходимо определить индекс ДПР по формуле:

$$\text{индекс ДПР} = \text{Объемная доля} \times \text{ИСПД}. \quad (1.6)$$

Затем, складывая по линейному закону (с учетом доли в смеси) индексы ДПР компонентов, определяется индекс ДПР для смеси:

$$(\text{Индекс ДПР})_{\text{смеси}} = \sum_i^n (\text{Индекс ДПР})_i. \quad (1.7)$$

По вычисленному индексу для смеси можно определить соответствующее давление пара по предложенной ранее зависимости:

$$\text{ДНП} = 6,8974 * \sqrt[1,25]{\text{ИДПР}}. \quad (1.8)$$

1.3.3 Расчет теплообменного оборудования

В системе аппаратов процесса НТС также есть и теплообменное оборудование. Обмен теплом происходит в результате стремления системы к

равенству температур. Количество теплоты, которое переходит от нагретого теплоносителя к холодному, определяют с помощью основного уравнения теплопередачи [26]:

$$Q = K_T \cdot F \cdot \Delta T, \quad (1.9)$$

При данном расчете коэффициенты теплоотдачи, теплопроводности материалов и термические сопротивления слоев загрязнения учитываются через уравнение расчета коэффициента теплопередачи:

$$\frac{1}{K_T} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + r_{31} + r_{32} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (1.10)$$

1.3.4 Другие расчетные параметры

Также при моделировании процессов газопереработки рассчитывают и определяются другие технологические параметры [27]:

- С помощью методики движения жидкости, проходящей через клапан, рассчитывают пропускную способность клапанов;
- Влияние на систему гидродинамического сопротивления аппаратов и трубопроводов рассчитывают с помощью уравнения Бернулли, формулы Дарси-Вейсбаха и др.;
- Плотность газов в условиях сепарации рассчитывают методом, обладающим наибольшей точностью, т.е. по уравнению Пенга-Робинса;
- Факторы уноса определяются при моделировании сепаратора с помощью дополнительных коэффициентов;
- Коэффициент сжатия газа учитывается при описании работы газового эжектора в процессе дроселирования;
- На законах Рауля, Дальтона и Коновалова проводят дополнительное описание системы процессов.

2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Технологическая схема низкотемпературной сепарации газа и газового конденсата

Осушенный газ и стабильный конденсат получают благодаря системе подготовки газа и газового конденсата, основанной на принципе НТС. Газ подготавливают до требуемых параметров, установленных в различной нормативной документации.

Для охлаждения газа используют дроссельные клапана и тепловую рекуперацию. При этом выделенный из сепаратора третьей ступени газ поступает по трубопроводу потребителю, а конденсат, который выходит из разделителей жидкости, направляют на дальнейшую переработку и хранение в резервуарах.

Структурная схема основных потоков представлена на рисунке Б 1 (прилож. Б).

Описание технологической схемы процесса НТС

Входным потоком в сепаратор первой ступени является газоконденсатная смесь, которая в данном аппарате разделяется за счет гравитационных сил на газ, жидкость и механические примеси. Газ, вышедший с верха сепаратора, направляется через рекуперативные теплообменники в сепараторы второй и третьей ступени, только перед сепаратором третьей ступени газу необходимо пройти через дроссельный клапан. Дроссель охлаждает газ до температуры минус 25 ÷ минус 45°С и при давлении 7,1-7,7 МПа дросселируется до давления 3,7-5,5 МПа.

Теплообменник содержит две секции, в которых в противоположном направлении протекает газ. Первый поток газа – это газ, пошедший на подготовку, а второй – уже подготовленный, вышедший из сепаратора третьей ступени. Благодаря охлаждению, образуется двухфазная газоконденсатная смесь, которую направляют в сепаратор следующей ступени.

Перед каждым сепаратором в трубную часть осуществляется впрыск метанола, который служит в качестве ингибитора гидратообразования.

Давление в сепараторах по ходу их расположения уменьшается примерно на 2МПа.

Отделенный газ в первом теплообменнике охлаждается до температуры минус 10 ÷ плюс 10 °С, во втором - минус 15÷ минус 25 °С.

Жидкая фаза из сепараторов С-1, С-2 и С-3 поступает в разделители жидкости при температуре плюс 5 ÷ плюс 25 °С и давлением 4,0-5,6 МПа для разделения на газ, метанольную воду и нестабильный конденсат, который в дальнейшем направляю на площадку переключающей арматуры УДСК.

2.2 Физико-химические процессы подготовки газа

При моделировании процесса НТС в система включает:

1. Сепарацию.
2. Теплообменное оборудование.
3. Дросселирование.

При разработке процесса сепарации используют законы фазового равновесия. Значения КФР определяют с помощью уравнения состояния Пенга-Робинсона:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V^2 - 2bV - b^2}, \quad (2.1)$$

где P - давление смеси, МПа;

R - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль/К);

T – температура, К;

V - молярный объем, м³/кмоль;

a, b, α – параметры, рассчитываются по формулам ниже;

$$a = 0,45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c}, \quad (2.2)$$

$$b = 0,07780 \frac{RT_c}{P_c}, \quad (2.3)$$

$$\alpha = \left[1 + (0,37464 + 1,54226\omega - 0,26992\omega^2) (1 - \sqrt{T_r}) \right]^2, \quad (2.4)$$

где Tr – относительная температура (T/T_c);

P_c - относительное давление (P/P_c);

T_c - критическая температура, К;

P_c - критическое давление, МПа;

ω - ацентрический фактор.

Расчеты по определению фазовых превращений природных углеводородов в данной системе проводят, если известен состав смеси и необходимые характеристики каждого компонента [28].

Для описания модели теплообменного оборудования решают уравнение теплового баланса через основное уравнение теплопередачи:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \cdot \tau, \quad (2.5)$$

где Q - количество передаваемого тепла, КДж;

K - коэффициент теплопередачи, КДж/м²;

F - площадь контакта, м²;

Δt_{cp} - средняя температура потока;

τ - время контакта, с.

Для максимальной достоверности решения определяют коэффициент теплопередачи K , учитывающий сопротивление загрязненности стенок, конструкцию теплообменника, процессы, протекающие с изменением агрегатного состояния, режим движения потоков и т.д.

В системе установки НТС в основном используют кожухотрубчатый теплообменник, в котором не происходят агрегатные превращения потоков теплоносителей. Расчет режима проводят через критерий Рейнольдса. Так как теплообменник состоит из двух пространств, необходимо провести расчет критерия и, исходя из него, коэффициента теплоотдачи.

В трубном пространстве критерий Рейнольдса имеет следующий вид:

$$Re_{\text{труб}} = \frac{4G}{\pi d \left(\frac{n}{z} \right) \mu}, \quad (2.6)$$

где μ – вязкость теплоносителя, Па·с.

Определив режим движения, рассчитываем значение коэффициента теплоотдачи:

При $Re > 10000$ (развитый турбулентный режим течения):

$$\alpha_{\text{труб}}^{Re > 10000} = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot (Pr/Pr_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (2.7)$$

При $2300 < Re < 10000$ (переходный режим):

$$\alpha_{\text{труб}}^{2300 < Re < 10000} = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43} \cdot (Pr/Pr_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (2.8)$$

При $Re \leq 2300$ (ламинарный режим):

$$\alpha_{\text{труб}}^{2300 \leq Re} = 0,15 \cdot Re^{0,33} \cdot Gr^{0,1} \cdot Pr^{0,43} \cdot (Pr/Pr_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (2.9)$$

где Pr - критерий Прандтля, учитывающий температуру теплоносителя, определяется по уравнению:

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{\lambda}, \quad (2.10)$$

где λ - теплопроводность теплоносителя, Вт/м·К;

Cp - теплоемкость смеси, Дж/К;

$Pr_{\text{ст}}$ - критерий Прандтля при температуре стенки;

Gr - критерий Грасгофа определяется через выражение [29]:

$$Gr = \frac{g l^3 \beta_t \Delta t}{\nu^2}, \quad (2.11)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с²;

t - коэффициент объемного температурного расширения теплоносителя, град⁻¹;

t - модуль разности температур теплоносителя и его границы (поверхности стенки), С.

В межтрубном пространстве расчет режима течения выглядит следующим образом:

$$Re_{\text{межтруб}} = \frac{d_n G}{S \mu}, \quad (2.12)$$

где S - площадь сечения потока в межтрубном пространстве между перегородками, м².

Далее так же, как и в трубном пространстве, определяем коэффициент теплоотдачи, исходя из режима движения потоков:

При турбулентном режиме по уравнению:

$$\alpha_{\text{межтруб}}^{Re > 10000} = 0,24 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot (Pr/Pr_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (2.13)$$

При ламинарном режиме по уравнению:

$$\alpha_{\text{межтруб}}^{\text{Re} < 10000} = 0,34 \cdot \text{Re}^{0,5} \cdot \text{Pr}^{0,36} \cdot (\text{Pr} / \text{Pr}_{\text{ст}})^{0,25}. \quad (2.14)$$

Также при построении модели НТС необходимо учитывать процесс дросселирования газа, в результате которого происходит его охлаждение [30]. Так как газ под определенном давлением переходит из сосуда одного объема в сосуд другого объема через множество тонких капилляров, он изменяет значения давления. При этом изменение внутренней энергии газа соответствует механической работе, которую совершают над газом:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = W \quad (2.15)$$

E_2 - энергия газа на выходе из дросселя;

E_1 - энергия газа на входе в дроссель;

$$W = - \left(\int_{V_1}^0 P_1 dV + \int_0^{V_2} P_2 dV \right) = -(P_2 V_2 - P_1 V_1) \quad (2.16)$$

В результате решения двух уравнений (2.17) и (2.18) получаем:

$$E_1 + P_1 V_1 = E_2 + P_2 V_2 \quad (2.17)$$

$$H_1 = H_2 \quad (2.18)$$

Исходя из этого, получаем, что энтальпии газа в начальном и конечном состоянии равны, т.е. не изменяется.

Изменение температуры реального газа, которое происходит в результате снижения давления на 0,1 МПа, является постоянной величиной при определенных условиях. Данная величина (коэффициент Джоуля-Томсона) может быть как положительной, так и отрицательной [31].

Температура газа может изменяться от перепада давления при интегральном дроссель-эффекте. Это происходит в результате изоэнтальпийного расширения газа. В этом случае интегральный коэффициент Джоуля-Томсона изменяется в интервале от 2 до 4 К/МПа и обладает зависимостью от начальных параметров (температура и давление) газа и его состава. Разницу температур рассчитывают по следующему выражению (2.19):

$$T_1 - T_2 = \int_{P_2}^{P_1} D_i dp \quad (2.19)$$

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Разработка имитационной динамической модели

Используя, разработанную общую динамическую модель НТС, с помощью программ Delphi 7 и Excel рассчитываем зависимости параметров ведения процесса от времени. Моделирование осуществляют с помощью дифференциальных уравнений материального и теплового балансов. В результате решения данных уравнений можно определить: давление и фазовое состояние веществ, уровень жидкости и температуру аппарата.

Рассматривают данные процессы, основываясь на данном представлении схемы материальных потоков (рис. 3.1).

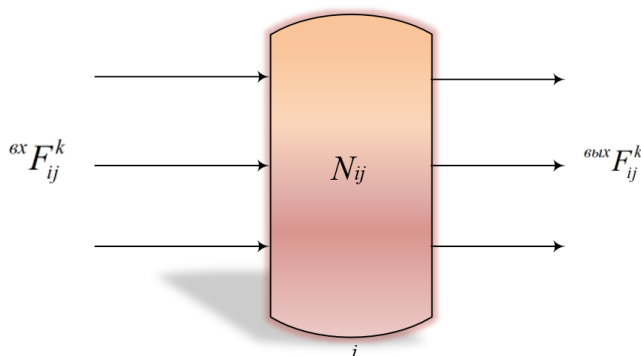


Рисунок 3.1 – Схема потоков материального баланса

N_{ij} - расход i -аппарате j -компонент;

$^{вх} F_{ij}^k$ - мольный расход k -го входа в i -аппарат j -компонента;

$^{вых} F_{ij}^k$ - мольный расход k -го выхода из i -аппарата j -компонента.

Материальный баланс:

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = \sum_k ^{вх} F_{ij}^k - \sum_k ^{вых} F_{ij}^k \quad (3.1)$$

Зная, что выходными потоками из сепарационного оборудования являются газовая и жидкая фазы, определить количественное значение их составов можно через закон Рауля-Дальтона:

$$y_i = K_i \cdot x_i, \quad (3.2)$$

где K_i – константа фазового равновесия.

Мольная доля пара в данном процессе рассчитывается как отношение количество паровой фазы к количеству исходного сырья:

$$e = \frac{G}{F}. \quad (3.3)$$

Связав данную величину, покомпонентное уравнение материального баланса и другие закономерности, получаем основное уравнение расчета однократного испарения для многокомпонентной смеси:

$$x_i = \frac{u_i}{1 + e(K_i - 1)}. \quad (3.4)$$

Решение данного выражения происходит с использованием метода итераций, основным условием которого является $\sum x_i = \sum y_i = 1$.

Уровень жидкости в сепараторе можно определить из его уравнения материального баланса $F = G + L$ (3.5), с учетом значения мольной доли:

$$L = F \cdot (1 - e). \quad (3.6)$$

Давление в сепараторе определяем с помощью основного уравнения Менделеева-Клапейрона $PV = \frac{m}{M}RT$ (3.7), где отношение массы к молекулярной массе – это количество паровой фазы, а объем равен объему жидкости в аппарате:

$$P = \frac{GRT}{V_L} \quad (3.8)$$

Схема потоков теплового баланса показана на рисунке 3.2.

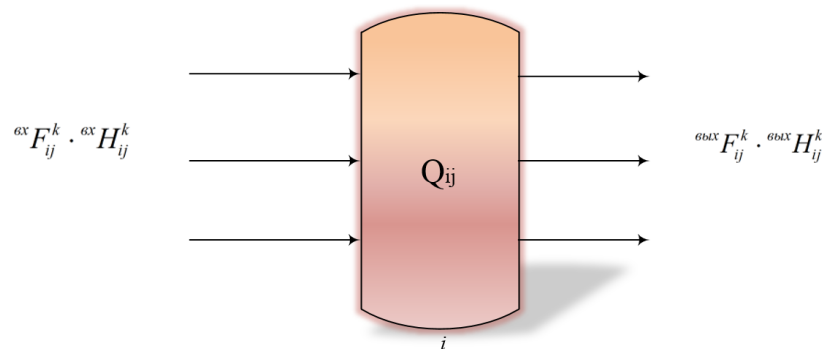


Рисунок 3.2 – Схема потоков теплового баланса

Q_{ij} - тепло в i -м аппарате j - компонента;
 $F_{ij}^k \cdot H_{ij}^k$

- энтальпия k -го входа в i -аппарат j -компонента;

${}^{\text{вых}}H_{ij}^k$ - энтальпия k -го выхода из i -аппарата j -компонента.

Тепловой баланс:

$$\frac{dQ_{ij}}{dt} = \left(\sum_k {}^{\text{вх}}F_{ij}^k \cdot {}^{\text{вх}}H_{ij}^k - \sum_k {}^{\text{вых}}F_{ij}^k \cdot {}^{\text{вых}}H_{ij}^k \right) + \Delta Q^* \quad (3.9)$$

Q_{ij} - тепло в i -м аппарате в j -м компоненте;

ΔQ^* - основное уравнение теплопередачи.

Основное уравнение теплопередачи определяется как произведение следующих величин: K - коэффициента теплопередачи; F – площади поверхности теплообмена; ΔT_{cp} – средней температуры между теплоносителями и времени (формула 3.10).

$$\Delta Q^* = K \cdot F \cdot \Delta T_{cp} \cdot \tau. \quad (3.10)$$

Зависимость температуры аппарата от времени можно определить исходя из выражения 3.11, зная общее тепло в аппарате ΔQ .

$$\Delta Q = \sum_j N_{ij} \cdot \int_0^T C_{P_{ij}} \cdot dt. \quad (3.11)$$

3.1.1 Анализ поведения системы на модель процесса низкотемпературной сепарации

Разработка динамической имитационной модели процесса НТС практически очень важна для производств подготовки газа и газового конденсата. Работа, осуществляемая в данной модели, способствует:

- Установлению оптимальных параметров работы установки;
- Выполнению исследований работоспособности и безопасности технологических установок;
- Отработке действий технологического персонала в случае возникновения аварийных ситуаций;
- Разработке способов предотвращения аварийных ситуаций и сглаживания последствий;
- Проведению численных исследований динамических воздействий на работу установки;

- Повышению квалификации инженерно-технического персонала установки с помощью тренажеров, основанных на данной модели;
- Оптимизации работы промышленных установок процесса НТС.

Имитационная динамическая модель разработана на основе физико-химических закономерностей, а также процессов, протекающих в системе, и особенностей конструкции таких аппаратов, как сепарационных, теплообменных, эжекторных и др. На основании математических моделей каждого оборудования и с учетом процессов, происходящих между ними, построена модель, которая работает и отображает состояние и параметры установки в настоящий момент времени.

Имитационная модель процесса низкотемпературной сепарации разработана с помощью программной среды Delphi 7. Интерфейс созданной модели представлен на рисунке 3.3.

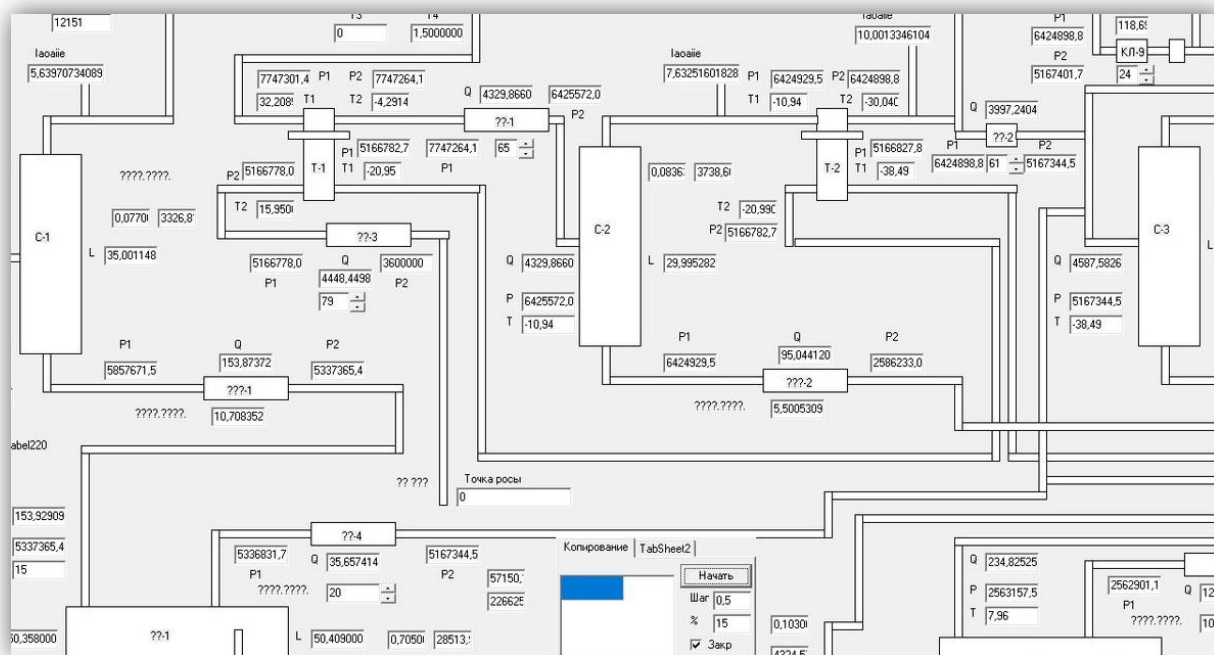


Рисунок 3.3 – Схема процесса низкотемпературной сепарации первой, второй и третьей ступени с использованием имитационной динамической модели

Было изучено влияние на систему динамического воздействия в качестве различной степени закрытия регулирующих клапанов. При изменении скорости закрытия клапана наблюдаются отличные друг от друга параметры работы

аппаратов. Система при этом выводится из одного стационарный режим и стремится к установлению другого. Значения скоростей закрытия клапана были выбраны следующие: 0,001; 0,01; 0,1; 0,5 %/с.

Анализ поведения системы проводился при изменении скорости закрытия клапана по следующим параметрам:

1. Температура точки росы;
2. Расход сырьевого потока;
3. Давление в аппарате;
4. Температура аппарата.

При осуществлении расчетов параметров работы оборудования необходимо сначала загрузить исходные данные, которые находятся в файле Excel. Так как данный файл непосредственно связан с программой, для загрузки необходимо только кликнуть соответствующую кнопку (рис. 3.4).

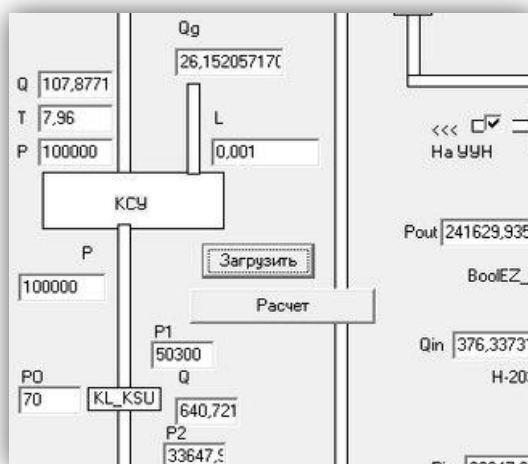


Рисунок 3.4 – Загрузка входных параметров

Дальнейшим действием является установка необходимой нам скорости закрытия клапана. Запуск расчета осуществляем нажатием кнопки «Начать» (рис. 3.5).

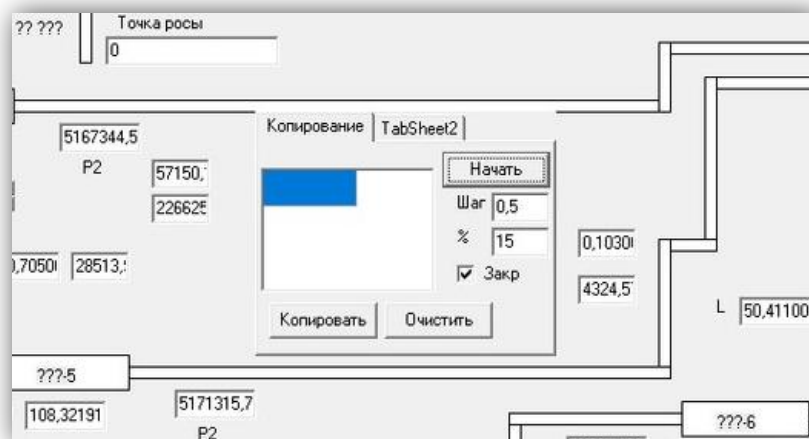


Рисунок 3.5 – Выбор скорости закрытия клапана

Расчет заканчивается при установлении постоянных параметров. Нажатием кнопки «Копировать» все данные сохраняются в буфер обмена ЭВМ и сохраняют их в файле Excel. Получив данные, их необходимо обработать и изучить различные зависимости.

3.1.2 Изменение основных технологических параметров в аппаратах после сепаратора первой ступени

Поведение системы при изменении точки росы

Зависимость значения температуры точки росы после первого сепаратора от времени при различных скоростях закрытия первого клапана отображает рисунок 3.6.

При максимальной выбранной скорости закрытия клапана 0,5%/с наблюдается повышение температуры, и при времени 300 с температура достигает $-4,3^{\circ}\text{C}$, что негативно влияет на систему, а газовый продукт является некондиционным. При скорости 0,1%/с температура постепенно снижается и на 150 с начинает расти до $-17,1^{\circ}\text{C}$ при $\tau = 300$ с. При наименьших скоростях 0,01 и 0,001%/с наблюдается только постепенное снижение точки росы, но при скорости 0,01%/с точка росы изменяется существенно.

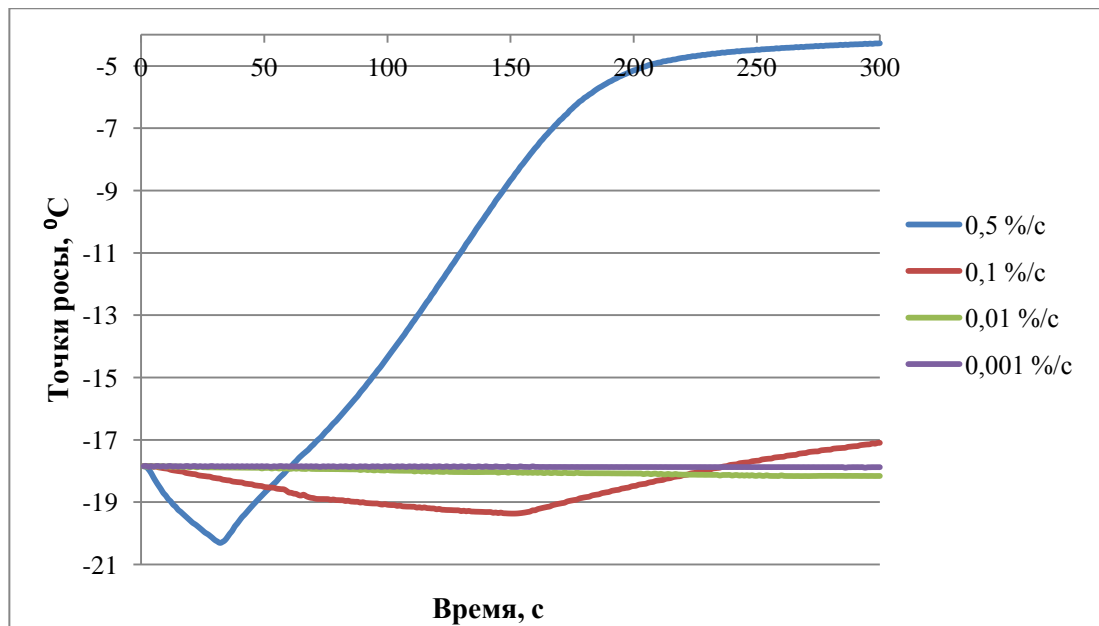


Рисунок 3.6 – Зависимость точки росы после сепаратора первой ступени от скорости закрытия клапана

Поведение системы при изменении расхода

На рисунке 3.7 отображена зависимость изменения расхода газового потока после сепаратора первой ступени от времени при различных скоростях закрытия первого клапана.

При наибольших скоростях закрытия клапана 0,5 и 0,1%/с происходит резкий спад значения параметра с 4483,3 м³/с до 4194,9 и 4150,1 м³/с соответственно. При минимальной скорости 0,001%/с происходит незначительное снижение за 300 с в интервале от 4483,3 до 4478,1 м³/с. А при скорости 0,01%/с наблюдается постепенное значение расхода без резких скачков, но быстрее, чем при 0,001%/с.

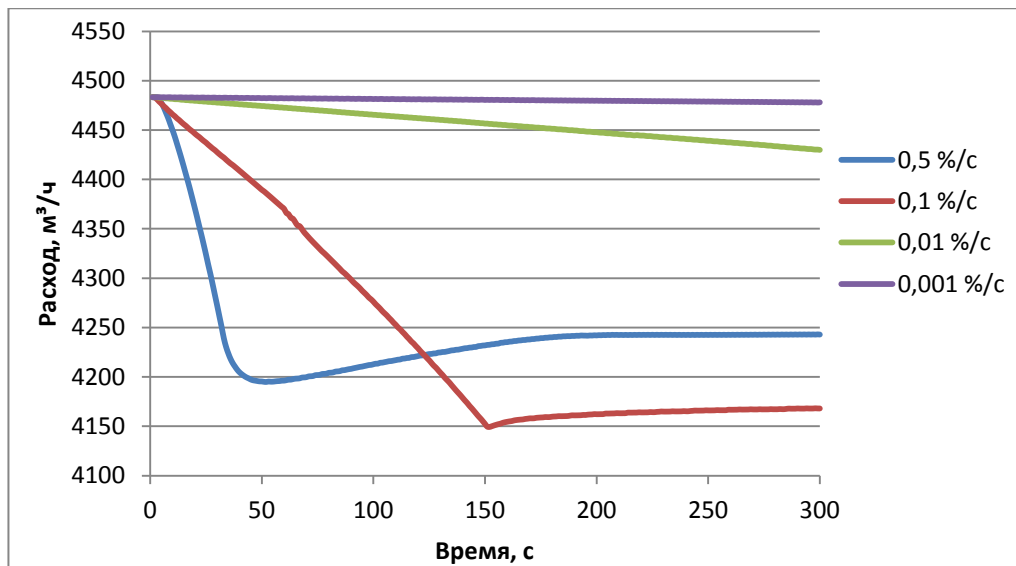


Рисунок 3.7 – Зависимость расхода после сепаратора первой ступени от скорости закрытия клапана

Поведение системы при изменении давления

Изменение давление в системе после первого сепаратора при варьировании скоростей закрытия первого клапана показано на рисунке 3.8.

При скоростях 0,5 и 0,1%/с, выбранных нами, исходя из расчетов, наблюдается резкий рост давления до 6,016 и 6,041 МПа и в дальнейшем значения уменьшается, пока не установится стационарное состояние. При скорости 0,01%/с происходит заметный рост давления за $\tau = 300$ с, когда при скорости 0,001%/с давление изменяется в интервале от 5858,3 до 5861,2 кПа.

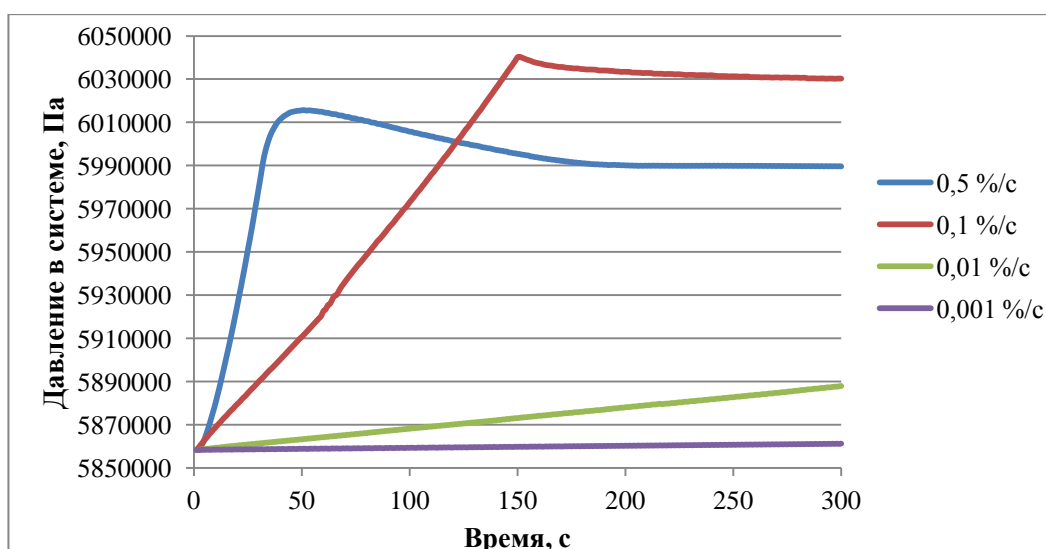


Рисунок 3.8 – Зависимость давления после сепаратора первой ступени от скорости закрытия клапана

Поведение системы при изменении температуры

Температура системы после сепаратора первой ступени практически не изменяется и не отображает влияния на нее скорости закрытия клапана.

3.2 Расчет ДНП смеси газового конденсата

При определении давления насыщенных паров газового конденсата с помощью методики «Смешение давления паров по Рейду» необходимо знать объемное содержание каждого компонента и его давление насыщенных паров. При условии, что данный газовый конденсат был получен при температуре 5,8°С, ДНП рассматривается при этой же температуре. Так как температура достаточно низкая, для тяжелых углеводородов значения ДНП при такой температуре не существует. Поэтому в расчете не учитывалось содержание н-гексана, н-гептана, н-октана, диоксида углерода, кислорода и азота, находящихся в составе газового конденсата.

Так как при смешении разных углеводородов, а точнее бензиновых фракций, давление паров по Рейду (ДПР) не подчиняется линейному закону, расчет осуществляется по следующему алгоритму.

Расчет проводился при температуре газового конденсата 5,8°С:

1. Для осуществления расчета давления паров по Рейду необходимы следующие исходные данные: объемные доли компонентов и давление их паров.

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета ДПР

Компонент	Объемная доля, % мольн.	Давление паров (ДП), кПа
Метан	86,74	7500,267
Этан	4,19	2623,32
Пропан	3,06	556,76
Изобутан	0,78	187,28

Бутан	0,81	126,68
Нео-Пентан	0,0045	87,41
Изопентан	0,18	43,6
Н - Пентан	0,14	37,72
Н - Гексан	0,07	11,55
Н - Гептан	0,01	5,29
Н - Октан	0,00	3,75
Углерода диоксид	0,75	94,11
Кислород	0,01	331,18
Азот	3,24	359,11
Смесь	100	

2. Далее по формуле (3.12) определяем индекс смешения давления паров (ИСДП) исходя из данных, указанных в таблице 3.1:

$$\text{ИСДП} = (\text{ДП} / 6,8974)^{1,25} \quad (3.12)$$

Таблица 3.2 – Расчет индекса смешения давления паров

Компонент	Объемная доля, % мольн.	Давление паров (ДП), кПа	Индекс смешения ДП (ИСДП)
Метан	86,74	7500,267	6244,377
Этан	4,19	2623,32	1679,606
Пропан	3,06	556,76	241,952
Изобутан	0,78	187,28	61,981
Бутан	0,81	126,68	38,021
Нео-Пентан	0,0045	87,41	23,91
Изопентан	0,18	43,6	10,023
Н - Пентан	0,14	37,72	8,363
Н - Гексан	0,07	11,55	1,90

Н - Гептан	0,01	5,29	0,72
Н - Октан	0,00	3,75	0,47
Углерода диоксид	0,75	94,11	26,22
Кислород	0,01	331,18	126,39
Азот	3,24	359,11	139,85
Смесь	100		-

3. Индекс давления паров по Рейду находим как произведение объемной доли и индекса смешения давления паров каждого компонента:

$$\text{Индекс ДПР} = \text{Объемная доля} \cdot \text{ИСДП} \quad (3.13)$$

Определив индекс ДПР каждого компонента, необходимо рассчитать индекс ДПР всей смеси:

$$(\text{Индекс ДПР})_{\text{смеси}} = \sum_i^n (\text{Индекс ДПР})_i \quad (3.14)$$

Таблица 3.3 – Определение индекса ДПР смеси

Компонент	Объемная доля, % мольн.	Давление паров (ДП), кПа	Индекс смешения ДП (ИСДП)	Индекс ДПР
Метан	86,74	7500,267	6244,377	5416,485
Этан	4,19	2623,32	1679,606	70,354
Пропан	3,06	556,76	241,952	7,412
Изобутан	0,78	187,28	61,981	0,482
Бутан	0,81	126,68	38,021	0,309
Нео-Пентан	0,0045	87,41	23,91	0,0011
Изопентан	0,18	43,6	10,023	0,018
Н - Пентан	0,14	37,72	8,363	0,012
Н - Гексан	0,07	11,55	1,90	0,0013
Н - Гептан	0,01	5,29	0,72	0,0001
Н - Октан	0,00	3,75	0,47	$9,3 \cdot 10^{-6}$

Углерода диоксид	0,75	94,11	26,22	0,198
Кислород	0,01	331,18	126,39	0,015
Азот	3,24	359,11	139,85	4,536
Смесь	100		-	5499,82

4. По вычисленному индексу ДПР смеси определяем давление насыщенных паров газового конденсата по формуле 3.15:

$$ДНП_{смеси} = 6,8974 \cdot \sqrt[1,25]{Индекс ДПР_{смеси}} \quad (3.15)$$

$$ДНП_{смеси} = 6,8974 \cdot \sqrt[1,25]{5499,82} = 6775,86 \text{ кПа}$$

С помощью данной методики была рассчитана зависимость ДНП газового конденсата от доли легких компонентов в ней (рис.3.9).

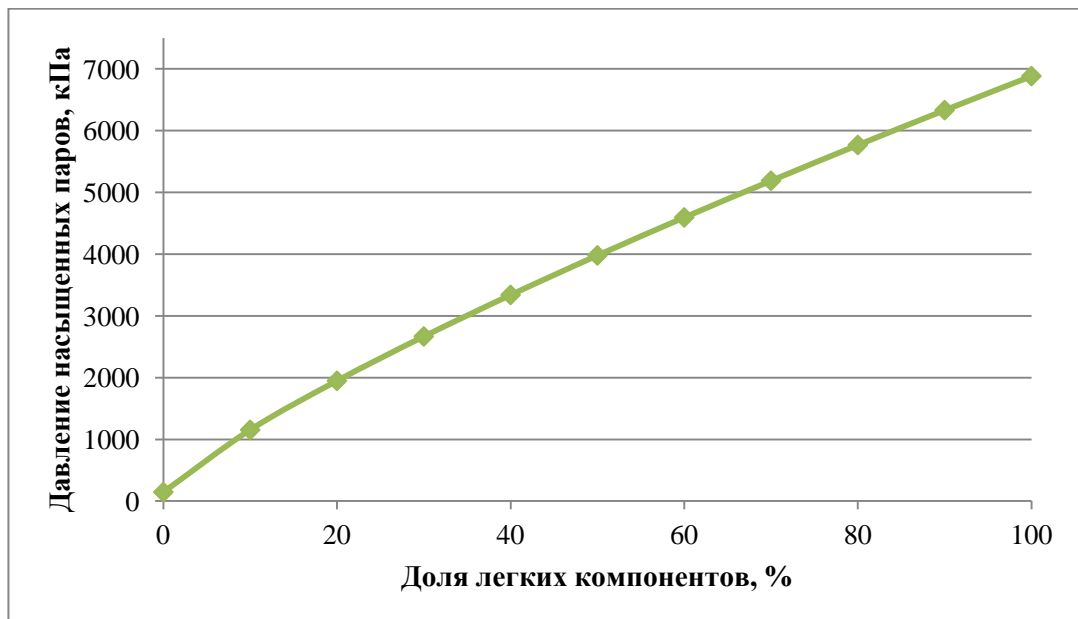


Рисунок 3.9 – Зависимость ДНП газового конденсата от содержания в нем легких углеводородов

При 100% содержании легких углеводородов в составе газового конденсата ДНП будет равно 6885,18 кПа.

3.3 Моделирование и интенсификация работы теплообменного оборудования

При моделировании процесса НТС учитывают также теплообменное оборудование. В существующей имитационной динамической модели рассмотрен прямоточный теплообменник. Он проще в описании модели, но не является верным для данного процесса, так как газ с сепаратора последней ступени в данном процессе НТС необходим для рекуперации тепла и является хладагентом. Поэтому, исходя из описанных ранее закономерностей и зависимостей, была написана модель противоточного теплообменника «труба в трубе» по типу «вытеснение-вытеснение» в программной среде Delphi 7, которая увеличит адекватность данной динамической модели процесса НТС.

Теплоносителями являются потоки смесей углеводородов, которые движутся в противоположном направлении, в результате чего один поток охлаждается, а другой - нагревается.

Для описания модели необходимы исходные данные, представленные в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Исходные показатели потоков

	1-ый поток	2-ой поток
Температура, К	288	258
Объёмная скорость, м ³ /с	9450,2	9450,2
Теплоёмкость, Дж/кг * °С	7,06·10 ³	9,59·10 ³

В теплообменнике реализуется режим «вытеснение-вытеснение», поэтому математическое описание будет иметь вид (формулы 3.16, 3.17):

$$S_1 \cdot \rho_1 \cdot C_{p1} \frac{\partial T_1}{\partial t} = -v_1 \cdot \rho_1 \cdot C_{p1} \frac{\partial T_1}{\partial x} - \frac{F}{L} \cdot K_T \cdot (T_1 - T_2); \quad (3.16)$$

$$S_2 \cdot \rho_2 \cdot C_{p2} \frac{\partial T_2}{\partial t} = -v_2 \cdot \rho_2 \cdot C_{p2} \frac{\partial T_2}{\partial x} - \frac{F}{L} \cdot K_T \cdot (T_1 - T_2). \quad (3.17)$$

В стационарном режиме работы теплообменника уравнения теплового баланса примут следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dT_1}{dl} = -\frac{K \cdot \pi \cdot d}{v_1 \cdot \rho_1 \cdot C_{p1}} \cdot (T_1 - T_2) \\ \frac{dT_2}{dl} = -\frac{K \cdot \pi \cdot d}{v_2 \cdot \rho_2 \cdot C_{p2}} \cdot (T_1 - T_2) \end{cases}, \quad (3.18)$$

где d – диаметр трубы, м.

Для удобства вычисления введём обозначения:

$$b_1 = \frac{K \cdot \pi \cdot d}{v_1 \cdot \rho_1 \cdot C_{p1}}; \quad (3.19)$$

$$b_2 = \frac{K \cdot \pi \cdot d}{v_2 \cdot \rho_2 \cdot C_{p2}}. \quad (3.20)$$

Систему полученных дифференциальных уравнений (3.18) решаем с помощью численного метода Эйлера:

$$T_1^i = T_1^{i-1} + b_1 \cdot (T_1^{i-1} - T_2^{i-1}); \quad (3.21)$$

$$T_2^i = T_2^{i-1} + b_2 \cdot (T_1^{i-1} - T_2^{i-1}). \quad (3.22)$$

где i – номер шага по длине теплообменника; h – шаг интегрирования по длине теплообменного аппарата.

Блок-схема алгоритма расчёта теплообменника приведена на рис. 3.10.

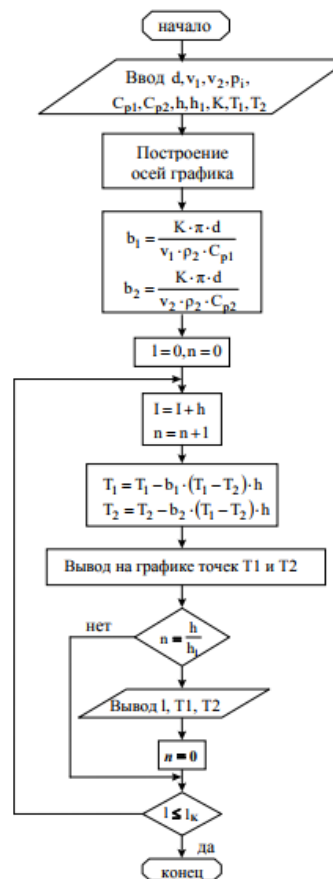


Рисунок 3.10 - Блок-схема программы расчёта теплообменника

Исследования по длине теплообменника проводятся с целью определения температур теплоносителей на выходе из аппарата при определенной его длине.

Длину теплообменника задаем, равной 10 м, при этом известны лишь начальные температуры потоков: 288 К и 258 К.

Исследования по изменению температуры проводятся с целью изучения влияния температуры хладагента на расход хладагента. После изменения температуры хладагента изменяют расход хладагента до тех пор, пока конечные температуры горячего теплоносителя и хладагента не достигнут требуемых значений.

По полученным данным был построен график зависимости температуры от длины аппарата (рис. 3.11).

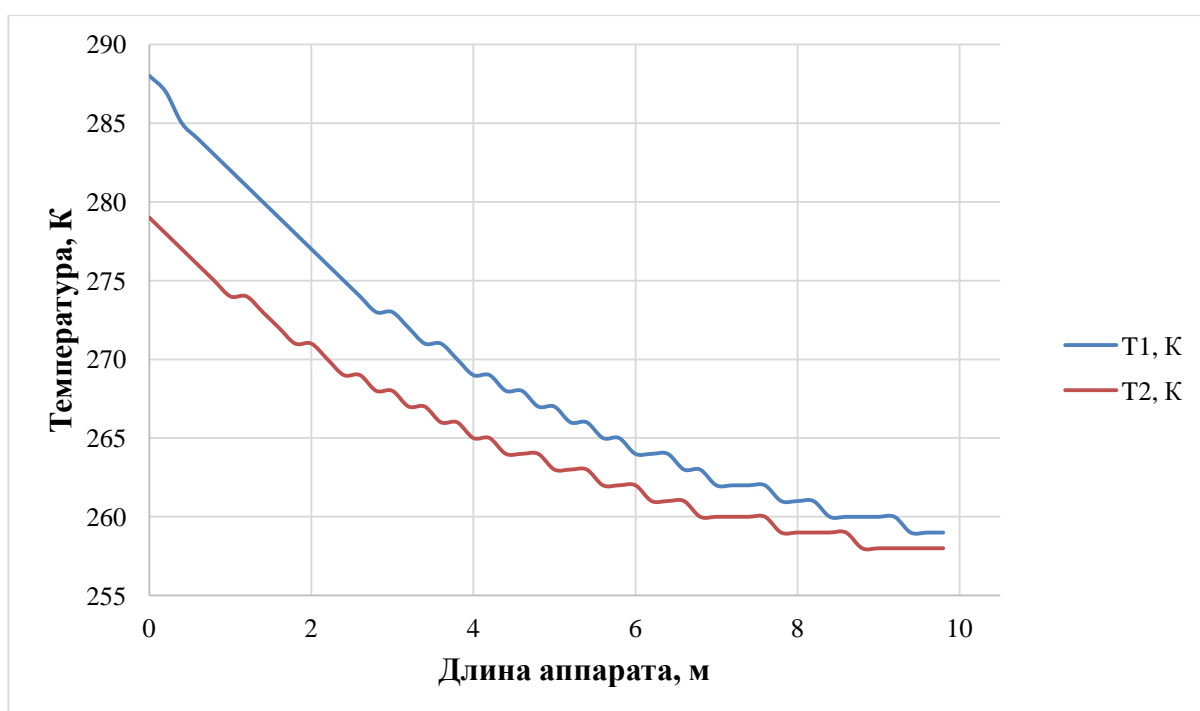


Рисунок 3.11 - Профиль температур по длине аппарата

На рисунке 3.11 показана зависимость температур от длины аппарата, исходя из него выявлено, что температуры обоих потоков уменьшаются, где

начальные температуры потоков равны 288 и 258 К, а конечные 259 и 279 К соответственно.

3.4 Проектирование газосепаратора третьей ступени процесса низкотемпературной сепарации

При моделировании процесса сепарации не в полной мере учитываются размеры самого аппарата, а расчет ведут лишь с учетом фазового равновесия, поэтому осуществлено проектирование двухфазного сепаратора с использованием программного продукта Aspen HYSIS v.7.3.

Создание и расчет технологической схемы двухфазного сепаратора проводится с помощью инструмента «2-Phase Separator».

Схема двухфазного вертикального сепаратора, а также технологические параметры сепаратора представлены (прилож. В) на рисунках В 1 и В 2 соответственно.

3.4.1 Технологический расчет газового сепаратора

Исходные данные:

- Максимальный расход газа $Q_{\max} = 95040$ т/сут;
- Давление $P = 3,58$ мпа;
- Рабочая температура $T = -27^{\circ}\text{C}$;
- Плотность газа в рабочих условиях $\rho_{\text{г}} = 39,06$ кг/м³;
- Плотность жидкости в рабочих условиях $\rho_{\text{ж}} = 568,1$ кг/м³;
- Коэффициент поверхностного натяжения в рабочих условиях $\sigma = 77,23 \cdot 10^{-3}$ Н/м;
- Начальное содержание жидкости в газе $e_0 = 81$ см³/нм³;
- Содержание жидкости на выходе из сепаратора (унос) – 0,1 г/м³.

Расчет элемента заключается в определении его расчетной площади и конструктивных размеров. Эскиз конструкции сетчатого газового сепаратора представлен на рисунке В 3 (прилож. В).

Технологический расчет включает в себя определение сепарационного элемента, сборника жидкости, штуцеров входа и выхода газа и выхода жидкости и др [32].

Расчет сепарационного элемента

Расчетная площадь

Для сетчатой насадки это ее площадь в сечении перпендикулярному направлению потока.

$$F = \frac{q_z}{W_{кр}} = \frac{1,39}{0,898} = 1,548 \text{ м}^2 \quad (3.23)$$

Объемный расход газа:

$$q_z = \frac{Q_{\text{мах}} * P_0 * T * z}{86400 * (P + P_0) * T_0 * z_0}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.24)$$

$$q_z = \frac{5000000 * 0,1 * 246 * 0,98}{86400 * (3,58 + 0,1) * 273 * 1} = 1,39 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.25)$$

где $Q_{\text{мах}}$ - максимальный объемный расход газа в нормальных условиях, 5млн нм³/сут; P - давление, МПа, $P_0=1,033 \text{ кгс/см}^2=0,1 \text{ МПа}$; T -температура, К; $T_0=273 \text{ К}$; z -коэффициент сжимаемости, $z_0=1,0$.

Критическая скорость:

$$W_{кр} = C_t * C_e * K_1 \sqrt{\frac{\sigma * g^2 * (\rho_{ж} - \rho_2)}{\rho_2^2}}, \text{ м/с} \quad (3.26)$$

$$W_{кр} = 1 * 1,09 * 0,65 * \sqrt[4]{\frac{77,23 * 10^{-3} * 9,81^2 * (568,1 - 39,06)}{39,06^2}} = 0,898 \text{ м/с} \quad (3.27)$$

где C_t -коэффициент, учитывающий влияние температуры газа на критическую скорость газа, $C_t=1,0$; C_e - коэффициент, учитывающий влияние начального содержания жидкости на критическую скорость газа;

Так как $e_0=81 \text{ см}^3/\text{нм}^3$, следовательно:

$$C_e = 1,75/81^{0,107} = 1,09. \quad (3.28)$$

K -коэффициент устойчивости режимов течения газожидкостной смеси; σ -поверхностное натяжение на границе раздела между газом и жидкостью, Н/м; $\rho_{ж}$ -плотность жидкости, кг/м³.

Конструктивные размеры сепарационного элемента (насадки)

Диаметр сетчатой насадки:

$$D = 1,13 * \sqrt{F} = 1,13 * \sqrt{1,548} = 1,40 \text{ м} \quad (3.29)$$

Расчетный диаметр округляется до ближайшего большего значения из ряда по ГОСТ 9617-76 для сетчатой насадки. Принимаем $D=1400$ мм.

Конструктивные размеры вертикальной сетчатой насадки находятся одновременно с определением диаметра жидкости сборника жидкости.

Расчет сборника жидкости

Расчет сборника жидкости сепаратора заключается в определении его расчетного объема и конструктивных размеров. За расчетный принимают объем сборника до верхнего предельного уровня без учета объема днищ.

Расчетный объем

$$V_{ж} = 60 * q_{ж} * \tau = 60 * 0,005 * 3 = 0,9 \text{ м}^3 \quad (3.30)$$

где τ - время пребывания жидкости в сборнике сепаратора, мин.

Объемный расход жидкости:

$$q_{ж} = \frac{e_0 * Q_{max} * 10^{-6}}{86400} = \frac{81 * 5000000 * 10^{-6}}{86400} = 0,005 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.31)$$

где e_0 - содержание жидкости в газе на входе в аппарат, см³/м³; Q_{max} - максимальный расход газа, м³/с.

Время пребывания жидкости в сборнике сепаратора принимается:

- для непенистых жидкостей - $\tau \geq 3$ мин

- для пенистых жидкостей – в каждом конкретном случае определяется опытным путем с учетом требований технологического процесса.

Расчетная высота (длина) сборника, т.е. длина цилиндрической части

$$L_{сб} = \frac{V_{ж}}{F} = \frac{0,9}{1,54} = 0,58 \text{ м} \quad (3.32)$$

где F - площадь смоченного периметра сборника жидкости в сечении, перпендикулярном его оси, м².

$$F = 0,785 * D_g^2 = 0,785 * 1,4^2 = 1,54 \text{ м}^2 \quad (3.33)$$

где D_g - внутренний диаметр сборника жидкости.

Расчетная длина $L_{сб}$ совмещенного сборника жидкости сетчатого сепаратора округляется до ближайшей большей величины кратной 100мм ($L_{сб}=600$ мм). Принимаем $F_{сб}=1,6$ м.

Расчет технологических штуцеров входа и выхода газа , выхода жидкости

Диаметр штуцера входа и выхода газа:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 26,69}{3,14 \cdot 39,06 \cdot 10}} = 0,295 \text{ м.} \quad (3.34)$$

где $W_г$ -скорость газа в штуцере, м/с. Принимается $W_г=10$ м/с.

Принимаем ближайшее $d = 300$ мм.

Диаметр штуцера (внутренний) выхода жидкости:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{ж}}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,11}{3,14 \cdot 553 \cdot 1,5}} = 0,013 \text{ м.} \quad (3.35)$$

где $W_{ж-1,0 \div 2,0}$ -скорость жидкости в штуцере.

Расчетный диаметр штуцера округляется до ближайшего большего из ряда условных диаметров, при этом диаметр штуцера выхода жидкости рекомендуется принимать не менее $d_{ж}=50$ мм. Принимаем $d_{ж}=0,05$ м.

Расчет сливных труб

При расчете необходимой площади слива сливных труб количество жидкости, попадающей в сборник жидкости сепаратора по сливным трубам:

$$q_{сл} = 0,3q_{ж} = 0,3 * 0,11 = 0,033 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.36)$$

Диаметр сливной трубы

$$d_{сл} = 1,13 \sqrt{\frac{q_{сл}}{n \cdot W_{сл}}} = 1,13 * \sqrt{\frac{0,033}{2 * 0,25}} = 0,29 \text{ м} \quad (3.37)$$

где $W_{сл} \leq 0,25$ м/с – скорость слив; $n \geq 2$ – число труб слива.

Расчетный внутренний диаметр округляется до ближайшего большего из ряда стандартных диаметров труб, но не менее $d=40$ мм. Принимаем $d_{сл}=0,40$ м.

Конструктивные требования к отдельным элементам сепараторов и расчет размеров технологических зон

Материал сепарационной и коагулирующей насадок сетка-рукав

ТУ 14-4-681-76, ТУ 26-02-354-76.

Объемная масса насадок – 200-250 кг/м³.

Насадка может быть секционной или цельной. В цельной насадке сетка-рукав сворачивается в спираль, высота насадки – 100мм. В секции сетка-рукав

укладывается слоями (70 слоев) поочередно вдоль и поперек, высота секции 160мм.

Площадь элементов решетки сетчатой насадки должна составлять не более 5% от ее общей площади.

Соответствие действительного диапазона работы сепаратора по газу и жидкости заданному

Условия соответствия по производительности

$$Q_{\text{max.д.}} \geq Q_{\text{max.зад}}, \quad (3.38)$$

$$9762308 \text{ м}^3/\text{сут} > 5\,000\,000 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (3.39)$$

где $Q_{\text{max.д}}$ – действительная максимальная производительность сепаратора по газу, м³/сут; $Q_{\text{max.зад}}$ – заданная максимальная производительность сепаратора по газу, м³/сут.

Условие соответствия штуцеров входа и выхода газа

Величина действительной скорости газа в штуцерах должна лежать в области допускаемых скоростей.

$$W_{\text{шт.г.}} = \frac{q_g}{0,785 \cdot d_{\text{шт.г.}}^2} = \frac{1,39}{0,785 \cdot 1,27^2} = 1,098 \text{ м/с}. \quad (3.40)$$

Соответствие действительного диапазона работы сепаратора по жидкости

$$V_{\text{сб}} \geq V_{\text{ж}} \quad (3.41)$$

Рабочий объем сборника жидкости:

$$V_{\text{сб}} = F \cdot L_{\text{сб}} = 1,54 \cdot 0,58 = 0,9 \text{ м}^3. \quad (3.42)$$

где F - площадь смоченного периметра, м²; $L_{\text{сб}}$ - длина цилиндрической части сборника жидкости, м.

Имеем:

$$0,9 = 0,9 \text{ м}^3 \quad (3.43)$$

Скорость жидкости в сливных трубах должна быть:

$$W_{\text{сл}} < 0,25 \text{ м/с} \quad (3.44)$$

Действительная скорость слива:

$$W_{сл} = 0,382 * \frac{q_{ж}}{\sum d_{сли}^2} = 0,382 * \frac{0,005}{0,062^2 + 0,062^2} = 0,248 \text{ м/с}. \quad (3.45)$$

Условие выполняется

$$0,248 \text{ м/с} < 0,25 \text{ м/с} \quad (3.46)$$

Чертеж общего вида газосепаратора представлен на рисунке В 4 (прилож. В).

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Разрабатываемый проект направлен на ознакомление с методикой расчета и математической моделью, а также на разработку метода процесса подготовки газа и газового конденсата. Данный продукт необходим для исследования и оптимизации процесса подготовки газа и газового конденсата, пригодного к транспортировке и эксплуатации.

Одними из наиболее важных и актуальных задач современной промышленности являются задачи ресурсопотребления, а точнее их сокращение, и ресурсосбережения.

Важную роль играет оценка экономической ценности технологии, поскольку она дает представление о поиске возможного финансирования для проведения исследований, а также коммерческой выгоды в случае успеха.

Основная цель данного раздела, «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» заключается в разработке и создании конкурентоспособных технологий, которые бы отвечали современным требованиям как с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения, так и с точки зрения экологических стандартов.

Таким образом, для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий и экономический потенциал исследования, а также его перспективность для науки в целом
- составить план научно-исследовательских работ по этой технологии;
- определить эффективность проведения исследования и его внедрения с точки зрения ресурсосбережения, имеющегося бюджета, социально-экологической и коммерческой.

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

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа целевой аудитории, будущих возможных потребителей результатов исследования, необходимо рассмотреть необходимую нишу целевого рынка и сегментировать его.

Целевым рынком называются те сегменты рынка, где в дальнейшем будет производиться реализация товара. Таким образом, сегментом рынка является обособленная часть рынка, внутри которой потребители имеют какие-либо общие признаки в газовой промышленности.

В свою очередь, сегментированием называется дифференциация потребителей на группы, внутри которых покупатели имеют одинаковые запросы на товары или услуги [33].

Поскольку разрабатываемая методика имеет значение в области промышленности, целесообразно провести сегментирование по критериям, характерным для B2B рынков, где потребителями являются юридические лица, как то: промышленные предприятия, компании и фирмы. В таблице 4.1 представлены макро и микропеременные для сегментирования, а также их возможные значения.

Таблица 4.1 – Критерии сегментирования целевого B2B рынка

Макропеременные сегментирования промышленного рынка	
Отрасль народного хозяйства по ОКВЭД ОК 029-2014 (КДЕС Ред.2)	Все предприятия входящие подраздел 06 — «Добыча сырой нефти и природного газа» (кроме 06.10.2 «Добыча горючих (битумозных) сланцев, песка и озокерита»); 09.10.4 – Сжижение и обогащение природного газа на месте добычи для последующей транспортировки; 09.10.9 – Предоставление прочих услуг в области добычи нефти и природного газа;
Размер организации	Представители крупного и среднего бизнеса
Географическое расположение	Международные, национальные и областного значения;
Характеристика производственных мощностей	Высокая или средняя степень автоматизации и производительности;

	Без привязки к возрасту оборудования и географическому положению;
Интенсивность потребления	Постоянный клиент, поскольку программа предусматривает постоянную модернизацию;
Тип потребляемой продукции	Продукты и услуги
Микропеременные сегментирования промышленного рынка	
Стратегия закупок	Стратегия гарантии поставок и стратегия обеспечения конкурентоспособности
Важность закупки	Высокая и средняя
Стиль принятия решения	Риск-принимающие

Исходя из таблицы, нишей для реализуемого проекта являются предприятия крупного и среднего бизнеса, имеющие высокую степень компьютеризации производства и готовые обучать персонал к применению новой технологии. Также предприятие должно нуждаться в какой-то степени в данной технологии в целях поддержания конкурентоспособности и пойти на определенные риски, поскольку разрабатываемая модель пока еще не апробирована в условиях реального эксперимента.

Таким образом, наиболее благоприятным сегментом и направлением для исследований является моделирование процессов подготовки газа.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Сегодня на рынке представлен широкий спектр программного обеспечения, способного с высокой точностью моделировать различные химико-технологические системы. Такие программы нашли применение в различных областях промышленности: нефтепереработки, нефтехимии, химической технологии и др. Основные программы и производители:

- AspenHYSYS - программный продукт, разработанный компанией AspenTechnology, Inc. HYSYS является лидером рынка процессов моделирования и оптимизации;
- UniSimDesign является основным программным продуктом компании Honeywell, данное программное обеспечение предлагает широкие возможности моделирования различных технологических процессов;

- PRO/II - программное обеспечение, разработанное компанией SchneiderElectric. Является симулятором стационарного режима, улучшающим процессы проектирования и операционного анализа.
- VMGSim™ - основной программный продукт компании VirtualMaterialGroupInc, который является точной и комплексной моделирующей программой для различных процессов химической промышленности.

Таким образом, многие программные продукты моделируют и оптимизируют процессы, но не все программы, вынесенные на рынок систем расчета химико-технологических схем, обладают возможностью динамического моделирования, причем некоторые продукты представляют динамику как набор стационарных состояний системы при изменении управляющих параметров за определенный промежуток времени, что не совсем корректно [24]. Кроме того, большинство из них являются зарубежными программными продуктами, обладающими высокой стоимостью. Данная проблема особенно актуальна для нашей страны в условиях выбранного пути на импортозамещение в области IT-технологий.

Поскольку существуют различные программные продукты, которые используются на современном рынке, необходим систематичный детальный анализ разработок, представляемых конкурирующими компаниями. Данный анализ позволяет вносить коррективы в процессе исследования, повышая конкурентоспособность продукта на рынке. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, реалистично оценивать сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Таким образом, для оценки ресурсосберегательной и ресурсоэффективности разрабатываемой технологии, а также для определения ее дальнейшего развития в этой области необходим анализ конкурентных технических решений, который позволит это осуществить.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя

С этой точки зрения данный анализ удобно проводить с помощью оценочной карты, приведенной в таблице Г 1, в которой для сравнения взяты математические модели, которую планируется создать (Φ) и две конкурентные модели ($K1$) и ($K2$).

В таблице: B_Φ – количество баллов отданных исследуемой технологии (динамическая модель низкотемпературной сепарации природного газа); B_{K1} – количество баллов отданных первому конкуренту (Honeywell UniSim Operation); B_{K2} – количество баллов отданных второму конкуренту (GSE EnVision).

Таким образом, анализ по техническим аспектам показывает, что конкуренты могут реализовать разрабатываемую технологию моделирования низкотемпературной сепарации газа в полной мере. Тем не менее, полученные значения помогают определить направления, необходимые для повышения эффективности данной научной работы, а именно широта функционала, качество исполнения интерфейса, финансирование, уровень проникновения на рынок. Преимуществами являются цена продукта и время, необходимое на обработку информации.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT (Strengths - сильные стороны, Weaknesses - слабые стороны, Opportunities - возможности и Threats - угрозы) – это комплексный анализ какого-либо предприятия или дела, в данном случае – научно-исследовательского проекта. Таким образом, SWOT-анализ применяется для исследования внешней и внутренней среды, в которой находится проект. Анализ проводится в несколько этапов:

1. Описание сильных сторон;
2. Описание слабых сторон;

3. Выявление возможностей;

4. Выявление угроз.

Сильные и слабые стороны являются факторами внутренней среды разрабатываемого проекта, (то есть то, на что сам объект способен повлиять); возможности и угрозы являются факторами внешней среды (то есть то, что может повлиять на объект извне и при этом не контролируется объектом).

Сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

Результаты SWOT-анализа приведены в таблице Г 2.

После определения областей SWOT-анализа следующим шагом является выявление соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям. Необходимость в тех или иных корректировках возникает при соответствии или несоответствии.

Целесообразно для улучшения понимания комбинаций взаимосвязей между областями SWOT-матрицы использовать интерактивную матрицу. В случае наблюдения сильного соответствия сильных сторон возможностям фактор помечается знаком «+». Знаком «-» при слабом соответствии. Если же существуют сомнения в выборе знака, то ставится «0». В таблице Г 3 представлена интерактивная матрица для реализуемого проекта.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Научно-исследовательская работа выполняется из рабочей группы следующего состава: студент, соискатель степени бакалавра, и научный руководитель, отвечающий за выпускную квалификационную работу.

В таблице Г 5 перечислены этапы и проводящиеся в ходе проведения исследования работы, а также их распределение по исполнителям.

4.2.2 План проекта

Поскольку выполнение выпускной квалификационной работы на получение степени бакалавра является сравнительно небольшим по объему исследованием, то наиболее целесообразным с точки зрения функциональности и наглядности методом отображения информации о плане выполнения работы является диаграмма Ганта

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный ленточный график, где выполнение работы по теме изображены протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Длительность этапов для удобства построения графика целесообразно перевести в календарные дни из рабочих по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.2)$$

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

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

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

В свою очередь т.н. «коэффициент календарности» можно вычислить по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.3)$$

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

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

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

Научное исследование занимает по времени период в четыре месяца: февраль, март, апрель и май, из которых половина мая отведена на исправление ошибок. Таким образом, количество календарных дней, отведенных на выполнение научно-исследовательской работы, составляет 140 дней. Из них 17 дней составляют выходные, поскольку в НИ ТПУ принята шестидневная рабочая неделя, а также 7 – праздничные дни.

Таким образом, по состоянию на период февраль – май 2018 года коэффициент календарности составляет:

$$k_{\text{кал}} = \frac{140}{140-17-7} = 1.206 \quad (4.4)$$

В таблице 4.2 представлен календарный план проекта разбитый на периоды выполнения научного проекта.

Таблица 4.2 – Календарный план-график проведения научного исследования математической модели низкотемпературной сепарации

№	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. дн	Продолжительность выполнения работ													
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Р, С	4	■													
2	Изучение технологии процесса	С	6	▨													
3	Обзор современной периодической литературы по выбранному направлению	С	15		▨												
4	Ознакомление с экспериментальными данными	С	6			▨											
5	Теоретическое обоснование выбора методик расчета, создание математической модели	Р, С	42			■	■	■	■	■							
6	Обработка результатов	С	5														
7	Корректировка модели и ее улучшение	Р, С	20														
8	Обсуждение результатов	Р, С	5														
9	Оформление пояснительной записки	С	7														
10	Рецензирование	С	3														
11	Подготовка к защите дипломной работы	С	10														
12	Защита дипломной работы	С	1														
		ΣT_{ki}	120														

где ■ – научный руководитель (Р), ▨ – студент (С)

4.2.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Бюджет НТИ формируется исходя из предполагаемых затрат, которые распределяются по следующим группам:

- ✓ материальные затраты НТИ;
- ✓ затраты на оборудование;
- ✓ основная заработная плата исполнителей проекта;
- ✓ дополнительная заработная плата исполнителей проекта;
- ✓ отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- ✓ накладные расходы.

В состав материальных затрат научно-технического исследования входят затраты материалов, использованных в разработке и проектировании проекта, такие как: материалы и сырье, комплектующие, закупленные у сторонних производителей, различные полуфабрикаты и изделия, необходимые для проведения испытаний в качестве объектов исследования, а также для обслуживания и ремонта необходимого оборудования. Материальные затраты и затраты на оборудование рассматриваемого научно-технического исследования отображены в таблицах 4.3, 4.4.

1. Сырье, необходимые материалы, закупаемые изделия и полуфабрикаты.

Таблица 4.3 – Затраты на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., с НДС тыс.руб.			Затраты на материалы, (З _м), тыс.руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Сепаратор фирмы «Химмаш»	шт.	3	3	3	1000	1000	1000	4000	4000	4000
Природный газ	м ³	40*	50	50	1	1	1	40	50	50
Метанол	м ³	440	550	550	0,5	0,5	0,5	220	225	220
Вспомог. оборудование	шт.	20	20	20	-	-	-	1200	1200	1200

(теплообменники, разделители жидкости)										
Итого								5460	5475	5470

2. Затраты на специальное оборудование для проведения научно-экспериментальных исследований

Таблица 4.4 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер	2	22	44
2	Лазерный принтер	1	5	5
3	Лицензия на программный пакет Delphi 7	1	27	27
Итого				76

Дополнительные затраты по доставке и монтажу учитываются в размере 15% от стоимости оборудования.

Расчет стоимости электроэнергии:

$$E = E_1 + E_2 = C \cdot H \cdot D \cdot \sum N_i = 4,36 \cdot 6 \cdot 79 \cdot 0,55 \approx 1,136 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.5)$$

где E – общее потребление электроприборами энергии на весь срок научного исследования;

N_i – мощность i -го электроприбора, кВт·ч;

C – стоимость электроэнергии для юридических лиц, по Томской области (4,36 руб/кВт·ч);

H – норма рабочих часов в день (6 часов в день);

D – общий срок научного исследования (79 дней).

Расчет основной заработной платы

Размер основной заработной платы выплачиваемой предприятием (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле (4.6):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.6)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Размер среднедневной заработной платы рассчитывается по формуле (4.7):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.7)$$

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (табл. 4.5).

Таблица 4.5– Баланс рабочего времени

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

Размер месячного должностного оклада работника рассчитывается по формуле (4.8):

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.8)$$

где Z_b – базовый оклад, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент;

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Начальный	Руководитель, бакалавр	20	1,316	26,33
2	Основной	Руководитель, бакалавр	34	1,316	44,76
3	Завершающий	Руководитель, бакалавр	25	1,316	32,91
Итого, т. р.					104,01

Для расчетов принято:

- заработная плата руководителя – старшего преподавателя, имеющего степень к.т.н., согласно доступным данным, составляет 19327 рублей в месяц;
- заработная плата студента-бакалавра равна стипендии составляет 2000 рублей в месяц;
- районный коэффициент для Томской области – 1,3;
- дополнительная заработная плата составляет 10% от основной, отчисления во внебюджетные фонды – 30%.

Для руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \cdot T_{\text{раб}} = \frac{19327 \cdot 1,3 \cdot 10,4}{299} \cdot 79 = 69,04 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.9)$$

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 69039,4 \cdot 1,1 = 75,94 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.10)$$

Для студента:

$$Z_{\text{осн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \cdot T_{\text{раб}} = \frac{2000 \cdot 1,3 \cdot 10,4}{299} \cdot 79 = 5,29 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.11)$$

Отчисления в фонд составляют:

$$Z_{\text{отч}} = 0,3 \cdot C_{\text{зп}} = 0,3 \cdot 75943,4 = 22,78 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.12)$$

Общий фонд заработной платы составляет:

$$Z_{\text{сумм}} = 5,29 + 75,94 + 22,78 = 104,01 \text{ тыс.руб.}, \quad (4.13)$$

Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн.:

$$Z_{1\text{ч/д}} = \frac{Z_{\text{сумм}}}{T_{\text{раб}}} = \frac{104,01}{79} = 1,316 \text{ т.руб.}, \quad (4.14)$$

где M – количество месяцев работы без отпуска в течение года, $M = 10,4$ месяца (6-дневная неделя);

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, 79 раб. дн;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала 299 раб. дней.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, электроэнергия, оплата услуг связи, почтовые расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = (\text{сумма предыдущих статей расходов}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.15)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент поправки на накладные расходы, принятый равным 0.16

$$C_{\text{накл1}} = (5460000+76000+104010) \cdot 0.16 = 902401,6 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{накл2}} = (5475000+76000+104010) \cdot 0.16 = 904801,6 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{накл3}} = (5470000+76000+104010) \cdot 0.16 = 904801,6 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

В таблице 4.7 приведен бюджет необходимый для реализации проекта.

Таблица 4.7 – Расчет бюджета проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Затраты на материалы	5460000	5475000	5470000
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ	76000	76000	76000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	74330	74330	74330
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6900	6900	6900
5. Отчисления во внебюджетные фонды	22780	22780	22780
6. Накладные расходы	902401,6	904801,6	904801,6
7. Бюджет затрат	6542412	6559812	6559812

Таким образом, бюджет имеет хорошую корреляцию с масштабом разрешаемой проблемы, а также лишний раз подтверждает ее масштаб.

Тем не менее, для его оптимизации, возможно, целесообразно продолжить поиск более дешевого оборудования приемлемого качества, а также повысить заработную плату персонала, в качестве дополнительного стимула, что усилит мотивацию, что, в свою очередь, положительно повлияет на производительность в долгосрочной перспективе.

4.3 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.3.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Эффективность научно-исследовательского проекта основывается на рассчитанном интегральном показателе, который находится из двух средневзвешенных величин, таких как: финансовая эффективность и ресурсоэффективность.

В качестве объекта сравнения были оценены бюджеты трех вариантов исполнения научного исследования, в результате чего был получен интегральный показатель финансовой эффективности текущего научно-технического исследования.

Таким образом, интегральный финансовый показатель разработки равен:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{200000 \text{ p.}}{2000000 \text{ p.}} = 0,1, \quad (4.16)$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – ориентировочная стоимость варианта исполнения текущей разработки;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в качестве максимальной стоимости взята стоимость существующей на рынке системы Honeywell в базовой комплектации; стоимость системы GSE составляет ориентировочно 1500000 p.).

Интегральный финансовый показатель первого аналога равен:

$$I_{\phi}^{A1} = \frac{\Phi_{A1}}{\Phi_{\max}} = \frac{1500000 \text{ p.}}{2000000 \text{ p.}} = 0,75, \quad (4.17)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности аналогов проекта определяется следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (4.18)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя приведен в таблице 4.8 и 4.9.

Таблица 4.8 – Сравнительная оценка характеристик аналогов проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Повышение роста производительности труда пользователя	0,2	3	4	3
2. Простота в использовании	0,3	4	5	4
3. Малое время, необходимое на обработку информации	0,1	4	4	5
4. Широта функционала	0,1	3	2	4
5. Адекватность модели	0,2	4	4	3
6. Удаленный доступ	0,1	4	3	4
ИТОГО	1	3,7	4,1	3,7

Таблица 4.9 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,7	4,1	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	3,74	4,1	3,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,91	1,01

Результат работы можно считать положительным, так как оценка интегрального показателя ресурсоэффективности близка к максимальной. Сравнив эффективность вариантов исполнения из таблицы 4.9, в целом можно считать, что исследование данного программного продукта является эффективным.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В процессе трудовой деятельности на сотрудника могут оказывать воздействие различного рода производственные факторы. Для их предупреждения и сохранения здоровья работника предусматривается ряд мер по обеспечению безопасности трудовой деятельности.

На территории Российской Федерации соблюдение требований охраны труда на промышленных предприятиях обеспечивается такими контролирующими органами власти, как: Правительство Российской Федерации и уполномоченные для этого местные органы, в пределах своей юрисдикции, а также Федеральная служба по труду и Государственная инспекция труда.

Непрерывное совершенствование системы страхования от несчастных случаев на производстве, жизни и здоровья, в том числе от профессиональных заболеваний, а также формирование страховых тарифов в зависимости от условий труда и уровня его охраны на рабочих местах регулируется Генеральным соглашением между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации [34].

Отдельно осуществляется специальная оценка условий труда по соответствующему закону [35].

Охрана здоровья рабочих и служащих в процессе исполнения трудовых обязанностей закреплена в трудовом законодательстве. Соблюдение требований безопасности выпускаемых машин, оборудования, инструмента столь же обязательно, как и основных технико-экономических параметров.

Эксплуатация установки комплексной подготовки газа (УКПГ) со следующими опасностями для работающих:

- Наличием в системе большого количества легковоспламеняемых нефтепродуктов (бензол, этилен, полиалкилбензолы, этилбензол);
- Наличием в системе высоких температур и давления;

- Использование в технологическом процессе хлорсодержащих соединений;
- Наличием высокого напряжения в электросетях (380 и 6000 в).
- Необходимостью обслуживания запорной арматуры, расположенной на высоте.

5.1 Производственная безопасность

Наиболее вредные производственные факторы (повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, повышенные уровни шума и вибрации на рабочем месте, недостаточная освещенность рабочих зон, взрывы, пожары и др.) могут возникнуть при обслуживании объектов газового хозяйства.

В таблице 5.1 представлен перечень вредных веществ и класс опасности, согласно ГОСТ 12.1.007.

Таблица 5.1 – Характеристика вредных веществ

Характеристика	Наименование веществ	
	Метан	Метанол
Плотность по воздуху	0,56	1,1
Предельно-допустимая концентрация, мг/м ³	300	5
В рабочей зоне		0,2
В населенном пункте:	50 (ОБУВ)	1
Класс опасности	4	3
Действие на организм	Не оказывает токсичного действия	Сильный яд
Температура воспламенения, °С	<450	<436
Концентрационный предел воспламенения	5–15%	6,7–34,7%
Категория и группа	ПАТ 2	ПАТ 2

В производственных помещениях следует иметь аптечки, укомплектованные медикаментами, для оказания первой доврачебной помощи.

Каждый работник или посетитель производства обеспечивается следующими средствами защиты:

- головы (каска);
- органов дыхания (изолирующие дыхательные аппараты, противогазы, респираторы);
- лица и органов зрения (лицевые щитки, защитные очки, прозрачные экраны);
- кожи рук (защитные перчатки, рабочие рукавицы).

5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды

5.1.1.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Средняя освещённость на рабочем месте с постоянным пребыванием людей должна быть не менее 200 лк, для помещений, в которых эксплуатируются персональные компьютеры и видеодисплейные терминалы, – 750 лк для работников вычислительных центров [36]. Необходимо ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей в поле зрения не должна превышать 200 кд/м². Яркость бликов на экране видеодисплейных терминалов и персональных компьютеров не превышает 40 кд/м², а яркость потолка, при применении системы отраженного освещения, не превышает 200 кд/м².

Окраска помещений влияет на психологическое состояние трудящегося, поэтому необходимо окрашивать помещение в соответствии с цветом технических средств. Кроме того, выбор цвета определяется освещенностью помещения: чем выше отражение света стенами и оборудованием, тем выше освещенность.

Для операторов персональных компьютеров и видеодисплейных терминалов ограничивают неравномерность распределения яркости в поле зрения, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 – 5:1, между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1. Для осветительных установок общего освещения

коэффициент запаса составляет 1,8 — 2,0. Коэффициент пульсации не превышает 5%. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в рабочих помещениях проводится чистка стекол оконных рам и светильников два раза в год и своевременная замена перегоревших ламп. Требования к освещению рабочих мест зафиксированы.

Рабочие места, объекты, подходы к ним, проходы и переходы в тёмное время суток должны быть освещены. Искусственное освещение должно быть выполнено в соответствии с установленными нормативами и обеспечивать установленный санитарными нормами уровень освещения таблица 5.2.

Таблица 5.2 – Санитарные нормы уровня освещенности рабочих поверхностей

Освещаемые объекты	Освещённость рабочих поверхностей или минимальная освещённость в горизонтальной плоскости, лк
Кабинеты и рабочие комнаты	300
Химическая лаборатория	500
Операторная	200
Насосные блоки	150
Технологические площадки	20
Пожарные проезды, дороги	0,5
Пешеходные дорожки	0,5
Ступени и площадки лестниц и переходных мостиков	3
Площадки перед зданиями, подъезды и проходы к зданиям, стоянки транспорта	2
Места расположения маркировочных	

щитков, надписей, предупреждающих знаков и знаков безопасности	
- при использовании люминесцентных ламп	150
- при использовании ламп накаливания	50
Фотолюминесцентные знаки безопасности	25

5.1.1.2 Повышенный уровень шума

Обслуживающий уровень, снабжается индивидуальными средствами защиты (наушники).

Производственные процессы на месторождении, такие как бурение скважин, спускоподъемные операции при ремонте скважин, процессы перекачки процесс гидроразрыва пласта сопровождаются значительным шумом и вибрацией. Современное развитие техники, оснащение предприятий мощными и быстродействующими машинами и механизмами приводит к тому, что человек постоянно подвергается воздействию шума.

В случаях работы при бурении, ремонте скважин и т.д., шум и вибрация действуют одновременно. При невысоком уровне звукового давления шум оказывает вредное влияние на нервную систему человека и его организм в частности, на органы слуха, вызывая раздражение, утомление, ослабление внимания.

Антифоны применяют для защиты органов слуха при технологических процессах, сопровождающихся шумами.

Например, при текущем и капитальном ремонтах скважин, наблюдается интенсивный шум: в месте расположения машины-подъемника, в кабине машиниста и у глушителя автомобиля.

Допустимые шумовые характеристики рабочих мест в России регламентируются ГОСТ 12.1.005.83 и СНиП 3223-85.

Нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах (за исключением рабочих мест отдельных отраслей (подотраслей) экономики), является 80 дБА [37].

5.1.1.3 Повышенный уровень вибрации

Источники вибрации: насосы, замерная установка.

Допустимые нормы вибрации при работе в насосной составляют 60-75дБ. Для ослабления колебаний применяют виброгасители и виброизоляторы.

Гигиенические допустимые уровни вибрации регламентируют ГОСТ 12.1.012-78 "Вибрация. Общие требования безопасности". При разработке мероприятий для защиты от шума и вибрации следует руководствоваться ГОСТ 12.1.029-80 "Средства и методы защиты от шума".

Борьба с шумом и вибрациями ведется в основном посредством создания условий уменьшения их воздействия на организм человека. Используются две группы для борьбы: конструктивно-технологические - к этой группе относится использование смазки, замена зубчатых передач металлических частей оборудования пластмассовыми, использование клиноременной передачи; - акустические: использование звукопоглощающих материалов, звукоизолирующие кабины, а также глушители.

5.1.1.4 Отклонение параметров микроклимата в помещении

Основными параметрами микроклимата является температура, относительная влажность и скорость воздуха. Микроклимат оказывает влияние на самочувствие человека, его трудоспособность и протекания физиологических процессов.

Важным фактором, влияющим на организм человека, является скорость движения воздуха. Для оценки метеоусловий в помещениях производят измерения температуры, влажности, запыленности, скорости движения воздуха.

Результаты измерения сравнивают с нормативами ГОСТ 12.1.0005-88 и СанПин 2.2.4548-96.

Выполняемая работа относится к категории Ia по тяжести выполняемых работ, производится сидя и сопровождается незначительным физическим напряжением. Для данной категории работ определены оптимальные и допустимые границы основных параметров микроклимата, которые приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, Т°С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха	
		Ниже оптимального, t ⁰ _{опт}	Выше оптимального, t ⁰ _{опт}			Если t ⁰ < t ⁰ _{опт}	Если t ⁰ > t ⁰ _{опт}
Холодный	Ia	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75 «x»	0,1	0,1
Теплый	Ia	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15,75 «x»	0,1	0,2

- «x» При температурах воздуха 25 °С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы:

- 70% - при температуре воздуха 25 °С; 65% - при температуре воздуха 26 °С

- 60% - при температуре воздуха 27 °С; 65% - при температуре воздуха 28 °С

- «xx» При температурах воздуха 26 – 28 °С скорость движения воздуха в теплый период года должна соответствовать диапазону: 0,1 – 0,2 м/с.

При устройстве систем вентиляции и кондиционирования воздуха в помещениях необходимо соблюдать определенные требования пожарной безопасности. Необходимо обеспечить приток свежего воздуха (определяется из расчета 20-60 м³/час на одного человека). Для обеспечения требуемого микроклимата воздушной среды предложена искусственная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревания воздуха в помещениях в холодное время года, а также безопасность в отношении пожаров и взрывов. Оптимальной является водяная

система отопления, которая является гигиеничной, надежной в эксплуатации, требующей минимум затрат на обслуживание, и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

5.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды

5.1.2.1 Механические опасности

Источников механической опасности на установке комплексной подготовки газа, которая включает процесс низкотемпературной сепарации, может быть огромное количество. Например, аппараты установки имеют огромные размеры, их обслуживание и ремонт в связи с этим очень затруднителен и травмоопасен (ремонт на большой высоте и т.д.). В ходе эксплуатации установки может случиться взрыв или пожар. В связи с этим, работники могут пострадать от осколков, обломков или ударной волны. Наличие в системе высокого давления и температуры может служить причиной для травм.

Для того чтобы защитить себя от травм на производстве, работники должны строго соблюдать все инструкции по эксплуатации оборудования, все правила поведения на производственной площадке. Во время проводить ремонт и диагностику оборудования, ликвидировать, если это возможно, или контролировать все возможные источники опасности.

Во время нахождения в опасной зоне использовать защитную одежду, перчатки, очки, каску.

В случае механической опасности, работники должны как можно быстрее на нее среагировать и принять все необходимые меры для ее устранения.

5.1.2.2 Электробезопасность

Для протекания непрерывного технологического процесса необходимо обеспечить его электробезопасным оборудованием, создать благоприятные условия труда для человека, связанного с электричеством.

Основные опасности, обусловленные электрическим током:

1. Опасность напряжения прикосновения – при прикосновении человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

2. Опасность напряжения перехода – при прикосновении человека к нетоковедущим металлическим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

3. Опасность токов короткого замыкания.

При нарушении правил эксплуатации или неисправности электрооборудования возникает опасность воздействия электрического тока на человека. Электробезопасность обеспечивается в соответствии с ГОСТ Р 12.1.009-2009 и относится к особо опасной категории.

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ, для защиты статического электричества оборудование должно быть заземлено, рабочие места должны быть снабжены резиновыми ковриками.

5.1.2.3 Термические опасности

Источником термической опасности на данном производстве являются теплообменное оборудование, трубопроводные магистрали. К тому же, установка эксплуатируется при повышенном давлении 3-7 МПа. Для того чтобы избежать повреждений, нужно следовать инструкции при эксплуатации оборудования.

Используемые средства защиты:

- лицевые щитки, защитные очки, прозрачные экраны;
- защитные перчатки, рабочие рукавицы;
- спецодежда;
- каски.

5.1.2.4 Пожаровзрывобезопасность

При выполнении работ во взрыво- или пожароопасных помещениях указываются их категории, согласно НПБ 105-03 (А,Б,В-1-В-4,Г,Д); степени огнестойкости зданий; противопожарные разрывы между зданиями и сооружениями; проезды для техники и пожарных машин; расположение

основных и вспомогательных въездов на территорию объекта. Для взрыво- и пожароопасных зон в помещениях или на открытых установках указываются классы зон по ПУЭ: взрывоопасные (В-I, В-Iа, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIа) и пожароопасные (П-I, П-II, П-IIа, П-III); категории (ПА, ПВ, ПС) и группы (Т1, Т2, Т3, Т4, Т5, Т6) взрывоопасных смесей.

Для предотвращения образования взрывоопасных концентраций продуктов в помещениях и других закрытых местах на нефтегазодобывающих предприятиях осуществляют герметизацию оборудования и всех путей передвижения нефти и газа, устраивают эффективную вентиляцию в помещениях, а также проводят мероприятия по предотвращению появления огня во взрывоопасных местах.

В качестве огнегасительных веществ применяют воду в виде струй, пара или в распылённом состоянии, твердые вещества (песок, кошмы), инертные газы (азот, двуокись углерода), галоидопроизводные составы, пены (химическая и воздушно-механическая).

Пожар можно ликвидировать механическим воздействием на пламя, изоляцией его от воздуха, охлаждением или удалением горючих веществ из очага горения. Для этой цели используют огнегасительные вещества и противопожарное оборудование: водяные гидранты, шланги, стволы, пеногенераторы, пенокамеры, пенозакидные мачты и др.

У скважин и других объектов должен быть первичный инвентарь для пожаротушения: ящики с песком, лопаты, совки, ломы, топоры, кошма и огнетушители пенные (ОП-5) и углекислые (ОУ-2, ОУ-5). Этот инвентарь используется только по прямому назначению. Обслуживающий персонал должен уметь его эффективно применять.

5.2 Экологическая безопасность

Подготовка нефти — это многостадийный процесс, который включает в себя обезвоживание и обессоливание нефти.

Подготовка нефти не является безотходным процессом. При подготовке нефти так же возможны выбросы в атмосферу. Экология подготовки нефти включает в себя проблемы загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы.

Общее наблюдение за состоянием окружающей среды осуществляют территориальные органы Росгидромета, которые включают инспекции по контролю атмосферы, гидросферы, почвы и за работой газоочистных и пылеулавливающих установок. Локальный санитарно-токсический мониторинг реализуется в городах и населенных пунктах, на автодорогах и на отдельных предприятиях. Правила контроля состояния окружающей среды установлены стандартами системы стандартов «Охрана природы». ГОСТ 17.2.3.01–86 формулирует правила контроля качества воздуха населенных пунктов.

Организация контроля состояния окружающей среды в регионах возложена на местные органы Государственного комитета РФ по охране окружающей среды. Ведется контроль атмосферы, гидросферы и почв вблизи транспортных магистралей и предприятий.

Анализ вредных факторов при адаптации математической модели на производстве

Так как при создании программы математического моделирования процесса низкотемпературной сепарации невозможно учесть влияние вредных веществ на окружающую среду, поэтому в качестве альтернативы предлагается рассмотреть опасные вещества, утечка которых возможна на предприятии.

Работа установки промышленной подготовки газа связана с образованием и выбросом загрязняющих веществ в атмосферу. Выбросы установки делятся на организованные и неорганизованные. К организованному выбросу относится выброс отходного газа через трубу.

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

Оксид углерода.

СО – бесцветный газ без вкуса и запаха. Плотность газа по воздуху 0,967 мг/м³.

Поступление СО в организм подчиняется закону диффузии газов. ПДК окиси углерода в воздухе рабочей зоны 20 мг/м³ при длительности работы не более 1 ч. Концентрацию 300 мг/м³ человек переносит без заметного действия в течение 2-4 ч.; 600 мг/м³ за это время вызывает легкое отравление; 1800 мг/м³ – тяжелое отравление наступает через 10-30 минут; 3600 мг/м³ – человек переносит 1-5 минут [38].

Двуокись углерода.

СО₂ – бесцветный, тяжелый, малореакционноспособный газ. При низких и умеренных температурах обладает слегка кисловатым запахом и вкусом. При содержании в воздухе до 1% не оказывает токсичного воздействия; при 4-5% раздражающе воздействует на органы дыхания, значительно учащая частоту дыхания; при 10% вызывает сильное отравление.

Углекислый газ оказывает наркотическое действие на человека и может изменять его поведение (походку, реакцию зрачков и др.), раздражать слизистую оболочку. В воздухе, вдыхаемом человеком, содержится примерно 0,04% СО₂.

Предельные углеводороды.

Химически наиболее инертны среды органических соединений, они являются в то же время сильнейшими наркотиками. Действие их ослабляется ничтожной растворимостью в воде и крови, вследствие чего только при высоких концентрациях создается опасность отравления этими веществами. С увеличением числа атомов углерода сила наркотического действия растет.

Постоянный контакт с предельными углеводородами вызывает покраснение, зуд, пигментацию кожи. Максимальная разовая ПДК (в пересчете на углерод) – 1 мг/м³ [39].

Оксиды азота (NO_x)

Оксиды азота (или окислы азота) - это газообразные оксиды азота (N). Для обозначения используется аббревиатура NO_x, поскольку существует

множество возможных соединений, с различным количеством атомов: N₂O, NO, N₂O₃, NO₂ и т.д.

Если эти оксиды вступают в реакцию с водой (также в виде тумана), образуются кислоты, раздражающие слизистую и частично способные вызвать поражение лёгких.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Мероприятия, проводимые во время чрезвычайных ситуаций (аварий, стихийных бедствий, военных конфликтов), представляют собой проведение спасательных работ и неотложных аварийно-восстановительных работ в очаге поражения. Данные мероприятия должны проводиться на основании положения комплекса государственных стандартов по предупреждению и ликвидации чрезвычайной ситуации и определены в [40].

Чрезвычайные ситуации могут сложиться в результате следующих нарушений: прекращение подачи сырья; остановка газовых нагнетателей; остановка воздушных нагнетателей; прекращение подачи воды; прекращение подачи электроэнергии; нарушение герметичности соединений трубопроводов, аппаратов или их разрыв; неисправность средств контроля и автоматики.

При возникновении аварийной ситуации технологический персонал должен немедленно сообщить об аварийной ситуации диспетчеру, начальнику установки и принять соответствующие меры по ликвидации аварии, руководствуясь "Планом локализации аварийных ситуаций" (ПЛАС).

Во избежание отравления ядовитыми парами необходимо воспользоваться противогазами, которые находятся на видном месте рабочего помещения.

Для исключения возможности несчастных случаев должны проводиться обучение и проверка знаний работников, требований безопасности труда в соответствии с [41].

Типичной ЧС для нефтехимического производства является пожар, это обуславливается широким спектром горючих веществ, используемых в производстве.

Спасательные и другие неотложные работы в очагах поражения включают:

- разведку очага поражения, в результате которой получают истинные данные о сложившейся обстановке, определяют объемы работ, уточняют способы ведения спасательных и аварийных работ, разрабатывают план ликвидации последствий ЧС;
- поиск и освобождение из-под завалов пострадавших; эвакуацию людей из опасных зон и оказание им первой медицинской помощи;
- локализацию и тушение пожара;
- санитарную обработку людей, обеззараживание транспорта, технических систем, зданий, сооружений и промышленных объектов;
- неотложные аварийно-восстановительные работы на промышленных объектах.

Для проведения спасательных работ планируется проведение ряда неотложных мероприятий:

- устройство проездов в завалах и загрязненных участках; оборудование временных путей движения транспорта;
- локализация аварий на сети коммунально-энергетических систем;
- восстановление отдельных участков энергетических и водопроводных сетей сооружений;
- укрепление или обрушение зданий и сооружений, препятствующих безопасному проведению спасательных работ.

Выполнение спасательных и других неотложных работ проводится специально обученными спасательными формированиями из числа работников промышленного объекта (подразделения гражданской обороны объекта).

В случае необходимости (выброс в окружающую среду радиоактивных или токсичных химических веществ, а также бактериологических агентов) проводят специальную обработку, состоящую из обеззараживания и санитарной обработки.

Готовность предприятия к выполнению неотложных аварийно-восстановительных работ оценивается наличием проектно-технической документации по вариантам восстановления, обеспеченностью силами и материальными ресурсами. Методика проведения восстановительных работ изложена в [42].

5.4 Правовые вопросы обеспечения безопасности

В 2018 году правительством РФ подписано генеральное соглашение с общероссийскими объединениями профсоюзов и работодателей на 2018-2020 годы. По традиции в данном соглашении затронуты проблемы охраны труда и стратегии их решения. В частности, в соглашении говорится о стремлении к совершенствованию нормативной правовой базы и улучшения здоровья работников. Затронута задача по разработке комплекса мер, направленных на экономическое стимулирование технического перевооружения и модернизацию производства в целях улучшения условий труда. Говорится также о необходимости содействовать развитию системы послесменной реабилитации работников и совершенствовать систему обеспечения работающих современными средствами индивидуальной защиты.

Федеральный закон Российской Федерации [43] устанавливает правовые и организационные основы и порядок проведения специальной оценки условий труда, определяет правовое положение, права, обязанности и ответственность участников оценки условий труда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря различным источникам, были изучены определенные способы подготовки природного газа, а в особенности метод НТС. Определены принцип работы установки, технологический режим, условия и закономерности протекания процесса.

Были изучены закономерности, основываясь на которых работают все составляющие аппараты процесса НТС. Это необходимо при разработке имитационной динамической модели, которая может описывать технологию процесса НТС, влияние каких-либо воздействий на систему и др.

Выводы

1. Изучен процесс НТС по имитационной динамической модели, способной отображать процессы перехода в другое стационарное состояние при динамическом возмущении.
2. Показаны зависимости изменения основных факторов (точка росы, расход, температура и давление), влияющих на эффективность процесса, от скоростей закрытия клапана (0,5, 0,1, 0,01, 0,001 %/с). Приемлемой скоростью для первого клапана можно считать 0,01 %/с.
3. Для максимальной адекватности существующей модели описаны: расчет ДНП, модель противоточного теплообменника типа «вытеснение–вытеснение».
4. При увеличении доли легких компонентов в составе газового конденсата возрастает давление насыщенных паров смеси. Так, например, при 100% -ном содержании легких компонентов, ДНП данного газового конденсата равно 6885,18 кПа.
5. По написанной динамической модели теплообменника по исходным температурам потоков $T_1=288\text{K}$ и $T_2=258\text{K}$ определены конечные значения температур, а именно $T'_1=259\text{K}$ и $T'_2=279\text{K}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Миллер А. Подведение итогов / Миллер А. // Газпром. Корпоративный журнал ПАО «Газпром» 2017 №1-2 стр. 1.
2. Атабегова Е.А. Обзор методов низкотемпературной переработки попутных нефтяных газов / Атабегова Е.А., Волокитин Л.Б., Гаранов С.А., Глухов С.Д. // Вестник МГТУ им. Баумана. Сер. «Машиностроение» 2010 стр.230.
3. Matrixplus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.matrixplus.ru/ongprom-018.htm>, свободный. – Загл. с экрана.
4. ГОСТ 5542-14. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия [Текст]. – введ.01.07.2015. – М.: Издательство стандартов, 2014. – 11 с.
5. СТО Газпром 089-2010 Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия.
6. Matrixplus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.matrixplus.ru/ongprom-020.htm>, свободный. – Загл. с экрана.
7. Вечканова О.А. ПЛК серии System Q Mitsubishi Electric для автоматизации в нефтегазовой отрасли / Вечканова О.А. // Автоматизация в промышленности 2013 №6 стр. 42-43.
8. Локальные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://localsys.ru/news/articles/obrazovanie-kondensata-tochka-rosy.html>, свободный. – Загл. с экрана.
9. Андрианов В.М. Очистка углеводородных газов от сероводорода реагентом на основе диоксазинов / Андрианов В.М., Марушкин А.Б., Шкитин Ю.И. // Башкирский химический журнал 2014 №3 том 21 стр 61-63.

10. Мухаметгалиев И.М. Очистка газов от кислых компонентов / Мухаметгалиев И.М., Черкасова Е.И., Муллахметова Л.И., Ласковенкова Е.Е. // Вестник технологического университета 2017 №3 том 20 стр. 54-60.
11. Мурин В.И. Кисленко Н.Н., Сурков Ю.В. Технология переработки природного газа и конденсата. Часть 1. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – с. 517
12. Neftegas.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://neftegaz.ru/tech_library/view/4872-Ustanovka-kompleksnoy-podgotovki-gaza, свободный. – Загл. с экрана.
13. Иванов С.С. Увеличение выхода нефти и снижение содержания легких углеводородов в нефтяном газе при проектировании установок подготовки нефти (часть II) / Иванов С.С., Тарасов М.Ю., Зобнин А.А., Жиряков В.Ю., Зырянов А.Б. // Нефтяное хозяйство 2011 №9 стр. 116-118.
14. GazSurf [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gazsurf.com/ru/gazopererabotka/stati/item/osushka-gaza>, свободный. – Загл. с экрана.
15. Коршак А.А. Основы нефтегазового дела, 1999г., 134 с.
16. Ткаченко И.Г. Химические превращения компонентов природного газа в процессе адсорбционной осушки силикагелями / Ткаченко И.Г., Шабля С.Г., Шатокин А.А., Гераськин В.Г., Малахова О.В., Завалинская И.С. // Газовая промышленность 2017 № 1 стр. 36-39.
17. Николаев В.В. Основные процессы физической и физико-химической переработки газа, 1998 г., с. 184
18. Кондауров С.Ю. Перспективы использования адсорбционных технологий для подготовки газа к транспорту / Кондауров С.Ю., Артемова И.И. // Газовая промышленность 2010 №10 стр. 52-55.
19. Кобилев Х.Х. Низкотемпературная сепарация углеводородов из природного и нефтяного попутных газов / Кобилев Х.Х., Гойибова Д.Ф.,

- Назарова Ф.П. // Молодой ученый. Научный журнал 2015 №7 часть 2 стр. 153-154.
20. Alain Lepage – Petroleum project management, TPA training course at ASTU
21. НефтеМагнат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.neftemagnat.ru/enc/75>, свободный. – Загл. с экрана.
22. Куличихин В.В. Современное состояние применения турбодетандеров на газопотребляющих промышленных объектах / Куличихин В.В., Лазарева О.О. // Новости теплоснабжения. - 2010. - № 10. - С. 28-30
23. Баталин О.Ю., Брусиловский А.И., Захаров М.Ю. Фазовые равновесия в системах природных углеводородов. - М., Недра, 1992, с. 272
24. Акберов Р.Р. Особенности расчета фазового равновесия пар-жидкость многокомпонентных систем при использовании уравнения Соавара-Редлиха-Квонга / Акберов Р.Р. // Теоретические основы химической технологии 2011 №3 том 45 стр. 329-335.
25. Харченко П.М. Методы исследования давления насыщенных паров и экспериментальные установки / Харченко П.М., Тимофеев В.П., Чижов Д.С. // Научный журнал КубГАУ 2015 №106(02) стр. 1-13.
26. Kasatkin A. G. Basic processes and apparatuses of chemical technology: textbook for universities / A. G. Kasatkin. — 15-e Izd., revised. — М: Alliance, 2009. — 750 S.
27. Писарев М.О. Моделирование режимов работы аппаратов установки подготовки газа и газового конденсата в технологии низкотемпературной сепарации / Писарев М.О., Долганов И.М., Ивашкина Е.Н. // Нефтегазовое дело 2014 №3, стр. 187-206.
28. Bruce E. Poling, John M. Prausnitz: The Properties of Gases and Liquids, Fifth Edition / McGraw-Hill Professional., 2000. – 768 p
29. Калишук Д.Г., Саевич Н.П., Вилькоцкий А.И. Процессы и аппараты химической технологии. Учебное пособие – Минск, БГТУ, 2009г.
30. В.Г. Левич. Курс Теоретической Физики. Том.1. Издание второе переработанное. "Наука". М. 1969 г.-с. 324

31. Studopedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studopedia.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
32. Чеботарев В.В. Расчеты основных технологических процессов при сборе и подготовке скважинной продукции Учебное пособие. 2-е изд. –Уфа, УГНТУ, 2001г.
33. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 28.12.2013): принят Государственной Думой 21 дек. 2001 г. // Российская газета. – 2001. – 31 декабря. – 144 с.
34. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2018 - 2020 годы от 5 февраля 2018 г., 14 с.
35. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон Российской Федерации N 426-ФЗ от 28 декабря 2013 г.: // Российская газета – 2013. – 30 декабря. – 3 с.
36. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри здания. Нормы и методы измерений - введ. 07.01.2014.- М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.
37. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.3359-16: утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ от 21 июня 2016 // Постановление о введении в действие. – 2016. – 8 августа – 70 с.
38. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Дополнение №2: гигиенические нормативы ГН 2.2.5.794-99: утвержден Главным государственным санитарным врачом РФ 20 декабря 1999 // Постановление о введении. – 2000. – 2 марта. – 54 с.
39. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: гигиенические нормативы ГН 2.1.1338-03: утвержден Главным государственным санитарным врачом РФ 21 мая 2003 // Постановление о введении. –2003. –25 июня. –86 с.

- 40.ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения [Текст]. - введ. 01.01.1995.- М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.
41. ГОСТ Р 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения [Текст]. – введ. 03.01.2017. – М.: Стандартиформ, 2016. – 12 с.
- 42.Нормы продолжительности строительства предприятий, зданий и сооружений: строительные нормы СНиП 1.04.03-85: утвержден Госстроем СССР и Госпланом СССР от 17 апреля 1985 // Постановление о введении в действие. – 1991. – 1 января – 464 с.
43. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [Электронный ресурс]. - / КонсультантПлюс – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/, свободный. – Загл. с экрана.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Хосоенова Р.Ф., Чиркина Н.А. Расчет показателей работы установки низкотемпературной сепарации газа с использованием имитационной динамической модели // Материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных имени Л.П. Кулева «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 17-20 Мая 2016. - Томск: НИ ТПУ, 2016 - Т. 1 - С. 394-395
2. Долганов И.М., Хосоенова Р.Ф., Чиркина Н.А. Исследование процесса низкотемпературной сепарации газа на математической модели // Материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных имени Л.П. Кулева «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 29 Мая – 1 Июня 2017. - Томск: НИ ТПУ, 2017 - Т. 1 - С. 297-298
3. Долганов И.М., Долганова И.О., Хосоенова Р.Ф., Чиркина Н.А. Исследование процесса низкотемпературной сепарации газа на математической модели // Материалы XIX Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных имени Л.П. Кулева «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 21-24 Мая 2018. - Томск: НИ ТПУ, 2018 - Т. 1 - С. 366-367

Приложение А.

Таблица А 1. – Физико-химические показатели ГТП промышленного и коммунально-бытового назначения согласно ГОСТ 5542-2014 [4]

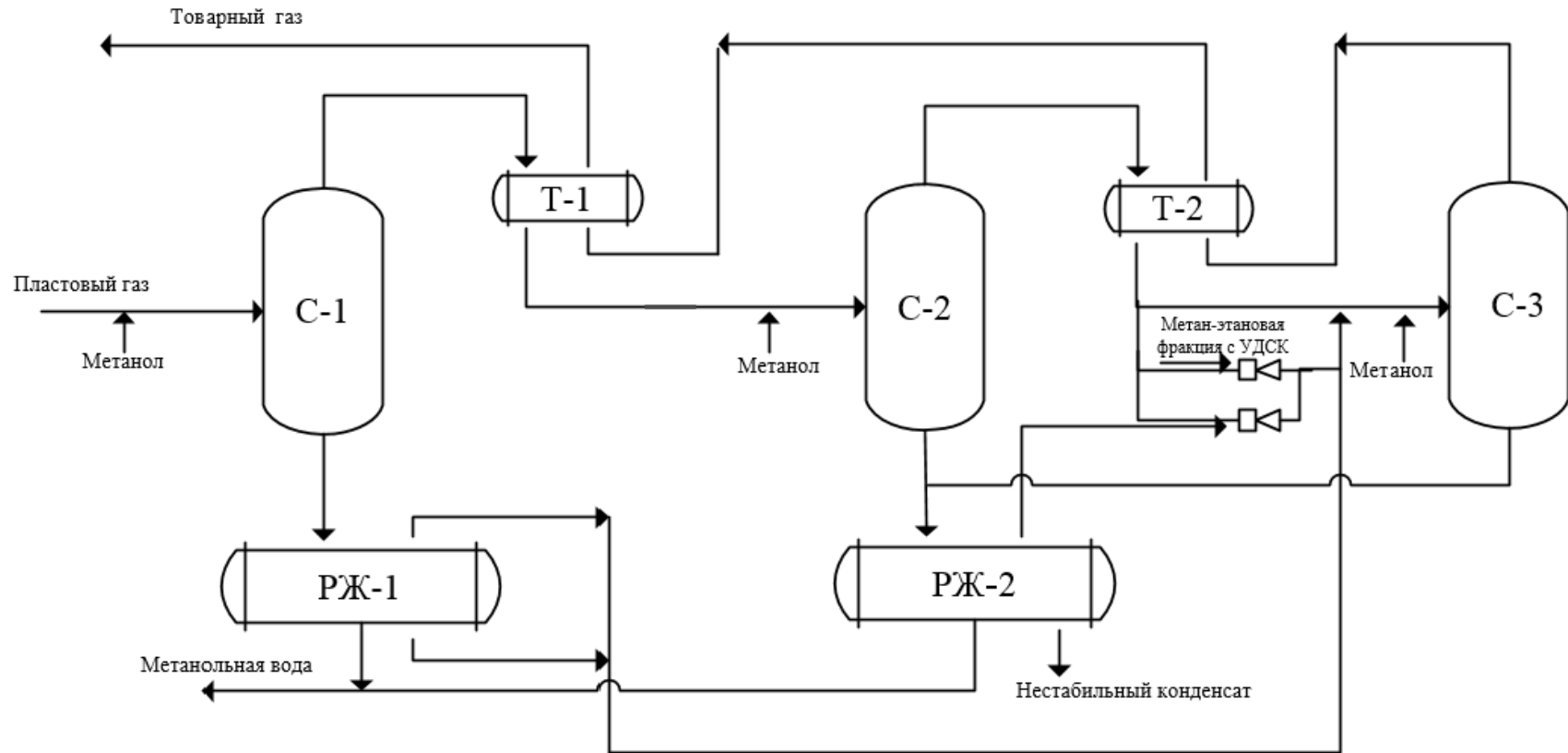
Наименование показателя	Норма
1. Компонентный состав, молярная доля, %	Не нормируется. Определение обязательно
2. Низшая теплота сгорания, при стандартных условиях, МДж/м ³ (ккал/м ³), не менее	31,80 (7600)
3. Область значений числа Воббе (высшего), МДж/м ³ (ккал/м ³)	От 41,20-54,50 (9840-13020)
4. Отклонение числа Воббе от номинального значения, %	±5
5. Массовая концентрация сероводорода, г/м ³ , не более	0,020
6. Массовая концентрация меркаптановой серы, г/м ³ , не более	0,036
7. Объемная доля кислорода, %, не более	0,050
8. Молярная доля диоксида углерода, %, не более	2,5
9. Температуры точки росы по воде при давлении в точке отбора пробы, °С	Ниже температуры ГТП в точке отбора пробы
10. Температуры точки росы по углеводородам при давлении в точке отбора пробы, °С	Ниже температуры ГТП в точке отбора пробы
11. Массовая концентрация механических примесей, г/м ³ , не более	0,001
12. Плотность при стандартных условиях, кг/м ³	Не нормируют. Определение обязательно
13. Интенсивность запаха ГТП при объемной доле 1 % в воздухе, балл, не менее	3

Таблица А 2. – Физико-химические показатели горючего природного газа, поставляемого и транспортируемого по магистральным газопроводам согласно СТО Газпром 089-2010 [5]

Наименование показателя	Значение для макроклиматических районов	
	умеренный	холодный
1. Компонентный состав, молярная доля, %	определение обязательно	
2. Температура точки росы по воде (ТТР _в) при абсолютном давлении 3,92 МПа (40,0 кгс/см ²), °С, не выше: – зимний период – летний период	-10,0 -10,0	-20,0 -14,0
3. Температура точки росы по углеводородам (ТТР _{ув}) при абсолютном давлении от 2,5 до 7,5 МПа, °С, не выше: – зимний период – летний период	-2,0 -2,0	-10,0 -5,0
4. Массовая концентрация сероводорода, г/м ³ , не более	0,007	
5. Массовая концентрация меркаптановой серы, г/м ³ , не более	0,016	
6. Массовая концентрация общей серы, г/м ³ , не более	0,030	
7. Теплота сгорания низшая при стандартных условиях, МДж/м ³ (ккал/м ³), не менее	31,80	
8. Молярная доля кислорода, %, не более	0,020	
9. Молярная доля диоксида углерода, %, не более	2,5	
10. Массовая концентрация механических примесей, г/м ³ , не более	0,001	
11. Плотность при стандартных условиях, кг/м ³	Не нормируют, определение обязательно	

Приложение Б

Рисунок Б 1. – Структурная схема основных потоков



С – 1, С – 2, С – 3 – сепараторы; Т – 1, Т – 2 – теплообменники; PЖ – 1, PЖ – 2 – разделители жидкости;

Приложение В

Рисунок В 1. - Технологическая схема

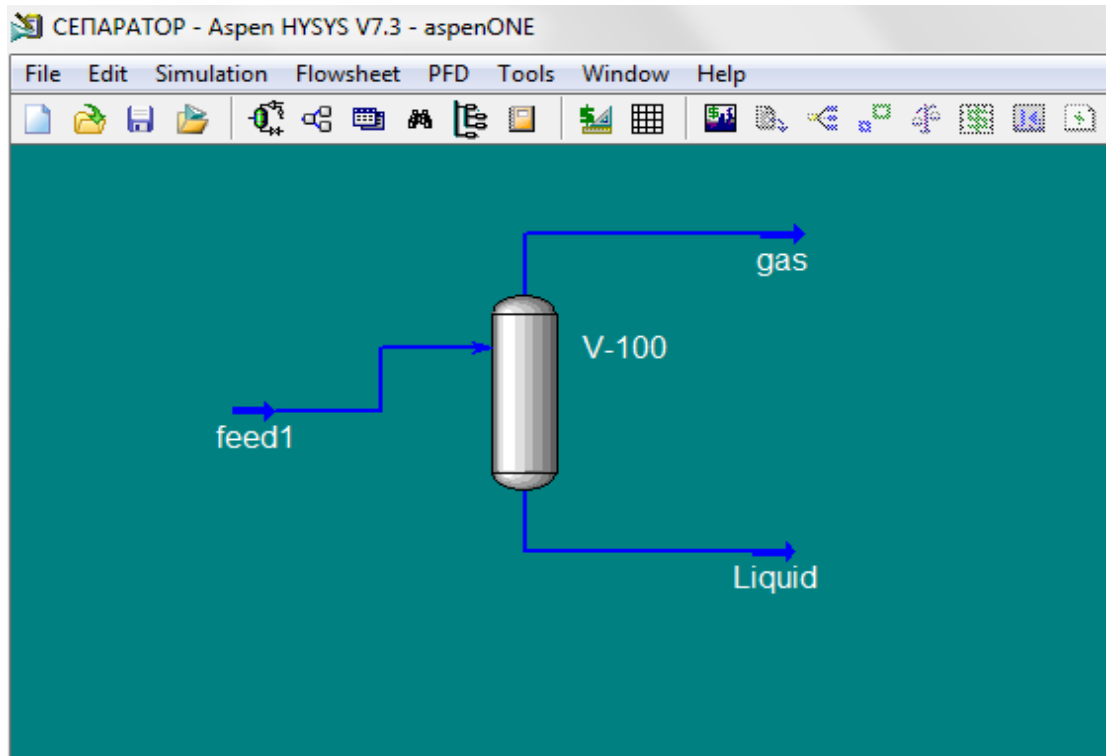


Рисунок В 2. – Технологические параметры сепаратора

Material Stream: feed1

Worksheet	Stream Name	feed1	Vapour Phase	Aqueous Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,9971	0,9971	0,0029
Properties	Temperature [C]	15,00	15,00	15,00
Composition	Pressure [kPa]	7100	7100	7100
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	1,058e+004	1,055e+004	30,42
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	1,867e+005	1,861e+005	561,3
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	582,0	581,5	0,5702
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-7,844e+004	-7,784e+004	-2,858e+005
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	144,7	144,9	50,28
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	-8,301e+008	-8,214e+008	-8,693e+006
Normalized Yield:	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	2,495e+005	2,488e+005	0,5607
	Fluid Package	Basis-1		
	Utility Type			

Worksheet Attachments Dynamics

OK

Delete Define from Other Stream...

Рисунок В 3. - Эскиз конструкции газосепаратора сетчатого

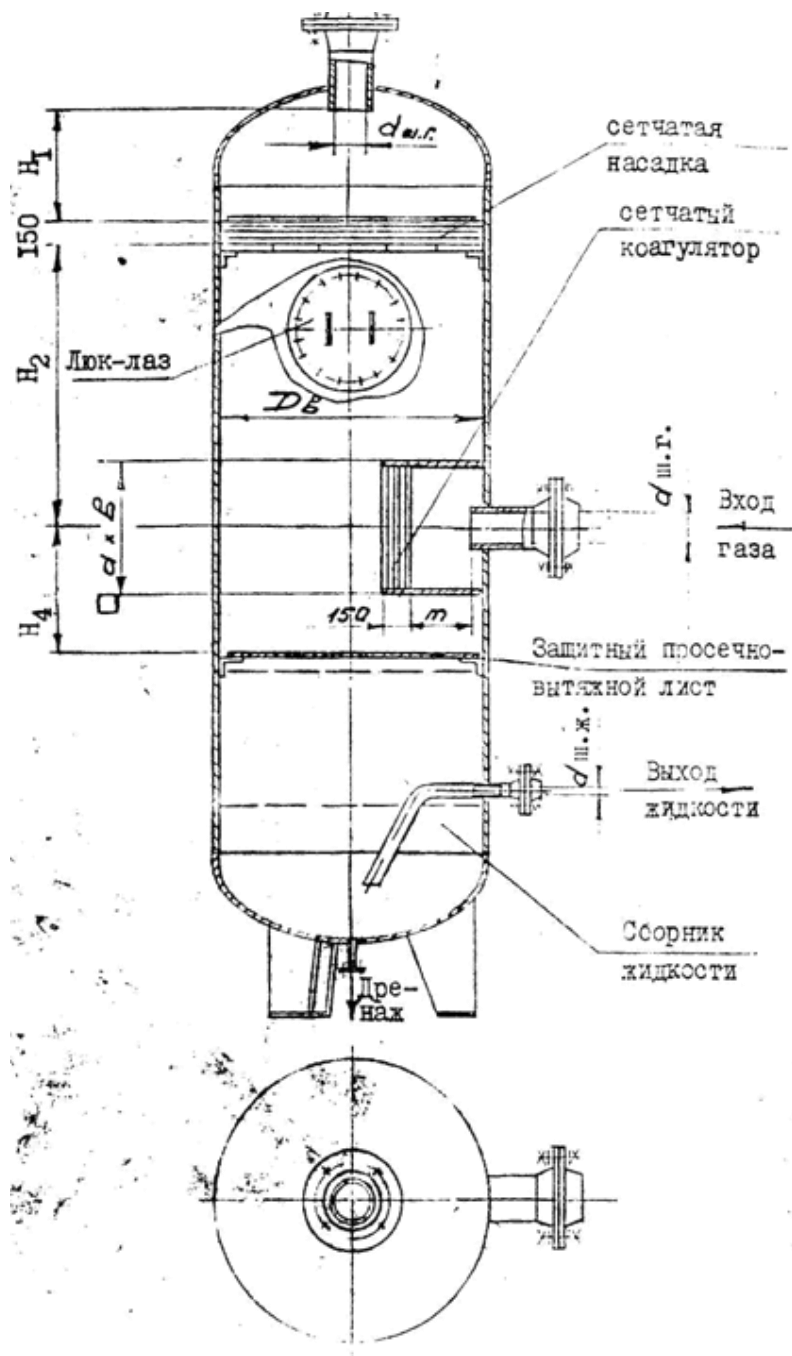
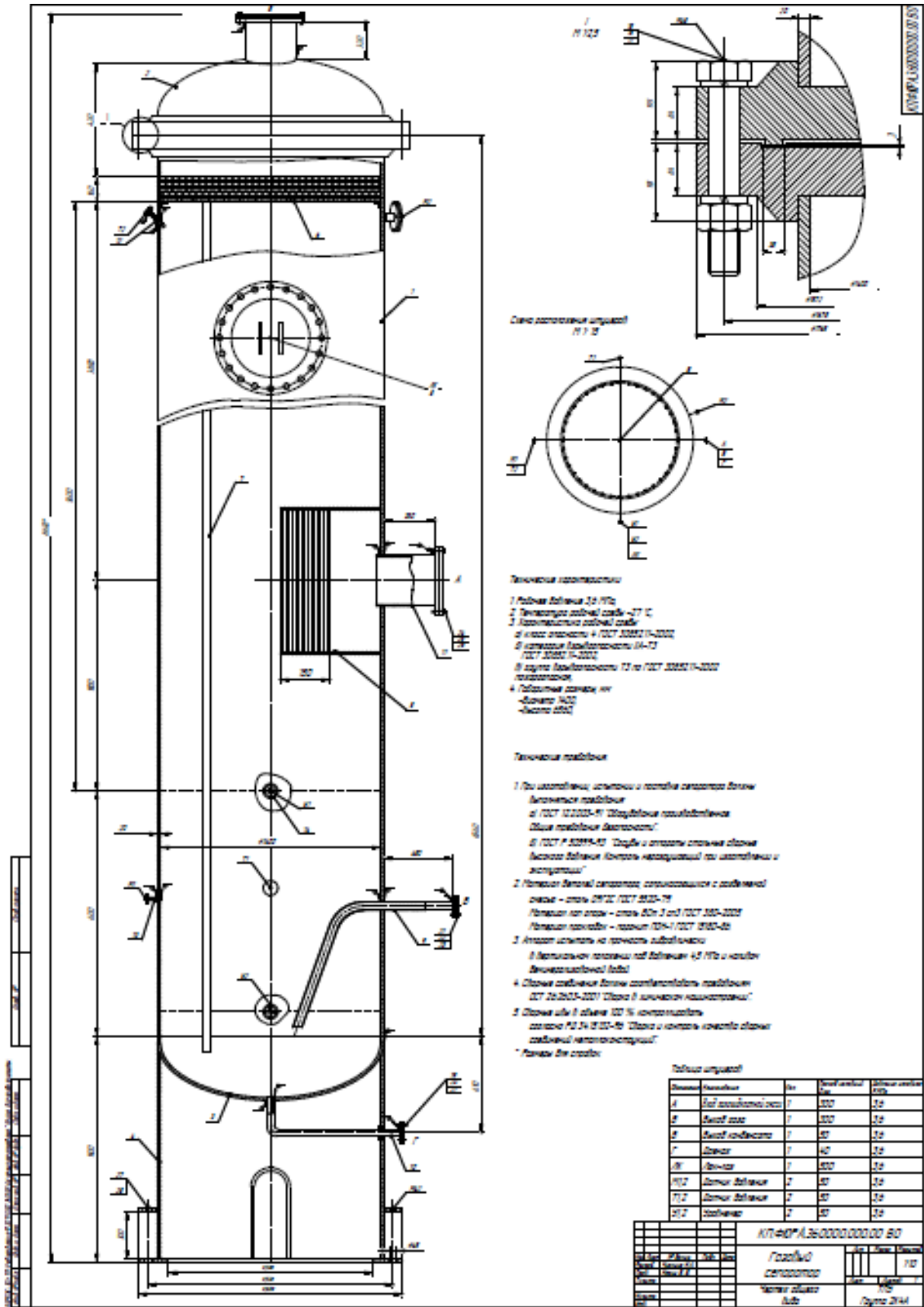


Рисунок В 4. – Чертеж общего вида газосепаратора



Приложение Г

Таблица Г 1. - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,09	2	4	4	0,16	0,32	0,32
2. Простота использования	0,09	4	5	5	0,36	0,45	0,45
3. Малое время, необходимое на обработку информации	0,06	4	2	2	0,24	0,12	0,12
4. Адекватность модели	0,07	3	4	4	0,21	0,28	0,28
5. Корреляция результатов с реальными условиями	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
6. Требовательность к вычислительным мощностям ЭВМ	0,02	4	3	3	0,08	0,06	0,06
7. Широта функционала (ассортимент предоставляемых средств)	0,03	3	5	5	0,09	0,15	0,15
8. Качество исполнения интерфейса и возможность его интуитивного понимания	0,08	3	5	5	0,24	0,4	0,4
9. Возможность работы с программой через удаленный доступ	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,11	3	5	5	0,33	0,55	0,55
2. Уровень проникновения на рынок	0,09	1	4	4	0,08	0,32	0,32
3. Цена	0,10	5	2	2	0,5	0,2	0,2
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,03	4	3	3	0,12	0,09	0,09
5. Послепродажное обслуживание	0,05	4	2	2	0,2	0,1	0,1
6. Финансирование научной разработки	0,05	2	5	5	0,1	0,25	0,25
7. Срок выхода на рынок	0,05	2	4	4	0,1	0,2	0,2
8. Наличие сертификации разработки	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2
Итого	1,00	-	-	-	3,27	3,89	3,89

Таблица Г 2 – SWOT-анализ проекта

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая точность математической модели;</p> <p>С2. Возможность обучения персонала на КТ производственному процессу, в том числе отработка аварийных и чрезвычайных ситуаций;</p> <p>С3. Компьютерная реализация тренажера;</p> <p>С4. Низкая стоимость относительно компаний-лидеров по производству КТ;</p> <p>С5. Близость разработки к завершенности.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Относительно устаревшая технология, заложенная в модель;</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой;</p> <p>Сл3. Необходимость больших компьютерных ресурсов и времени для разработки, усовершенствования, а также апробации модели, на основе которой строится КТ;</p> <p>Сл4. Отсутствие современного оборудования для проведения испытания опытного образца;</p> <p>Сл5. Недостаточное количество производственных данных на этапе разработки, необходимых для апробации КТ.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Возможность унификации модели и тренажера под конкретное производство</p> <p>В3. Заинтересованность производителей в компьютерных тренажерах</p> <p>В4. Развитие газовой отрасли в целом</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие удобного интерфейса для работы с программой, возможность постпродажного обслуживания ПО, а также невысокая стоимость позволит реализовать продукт на рынке. 2. Благодаря системе лицензирования будет иметь возможность получения дохода в течение долгого периода 3. Рассматривается дополнительная возможность использования для исследований, имеющие схожие практические цели 4. Данная технология актуальна на сегодняшний день для газовых и газоконденсатных месторождений Западной Сибири и в остальной России 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходима разработка универсального тренажера, способного описывать работу различных технологических процессов, что позволит в дальнейшем использовать его для других технологий 2. Необходимость проводить различные семинары, тренинги и т.д. с целью повышения квалификации кадров у потребителя 3. В случае необходимости, нужно будет приобрести дополнительное оборудование для расширения технических возможностей КТ 4. Необходимость дополнительной настройки программы специально обученным специалистом на месте применения разрабатываемого ПО

Продолжение таблицы Г 2

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отказ производителя от технологии НТС в пользу других, для которых нет возможности на данном этапе подготовить КТ</p> <p>У2. Развитая конкуренция в данном секторе экономики.</p> <p>У3. Вероятность низкой сходимости с реальным производством из-за недостаточно проработанной модели процесса</p> <p>У4. Отсутствие большой клиентской базы на начальном этапе реализации на рынке</p>	<p>1. Необходимо решить ряд маркетинговых и организационных задач: при изменении требований к ПО потребуется либо дополнительные временные ресурсы, либо подключение дополнительного количества специалистов в данной области</p> <p>2. Постоянное повышение качества продукта при сохранении конкурентной стоимости</p> <p>3. Программа имеет возможность быстрого задания состава сырого природного газа, что способствует необходимому подбору верных технологических параметров</p> <p>4. Для повышения конкурентоспособности на этапе разработке уже необходимо предлагать продукт потенциальным клиентам, в идеале, заключение долгосрочных контрактов</p>	<p>1. Закупка необходимых изделий и различного оборудования для разработки данной технологии</p> <p>2. Закупки необходимого сырья для проведения исследования и тестовых запусков в соответствующих адекватных объемах</p> <p>3. Существует вероятность технологических ошибок в процессе работы модели и, соответственно, установки</p> <p>4. Необходимость в заранее обсужденных договоренностях с партнерами о постоянной модернизации программы в силу ее недоработанности, масштабов проблемы и развитой конкуренции во избежание различных недопониманий</p>
--	--	--

Таблица Г 3 – Интерактивная матрица проекта.

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	0	+	+	+	+
	B2	+	+	+	0	+
	B3	+	+	+	0	0
	B4	-	-	+	+	+
Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	0	-	+	-
	У2	+	+	+	+	+
	У3	-	-	-	0	+
	У4	-	0	+	0	0

Продолжение таблицы Г 3

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	-	+	+	-	0
	B3	-	-	+	-	-
	B4	-	-	0	-	+
Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	0	0	+	+
	У2	0	+	0	-	-
	У3	-	0	+	+	+
	У4	-	0	+	+	-

Таблица Г 4 – Итоговая матрица SWOT-анализа для проекта по моделированию процесса низкотемпературной сепарации газа и газового конденсата.

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая точность математической модели</p> <p>С2. Возможность обучения персонала на КТ производственному процессу, в том числе отработка аварийных и чрезвычайных ситуаций</p> <p>С3. Компьютерная реализация тренажера</p> <p>С4. Низкая стоимость относительно компаний-лидеров в по производству КТ</p> <p>С5. Близость разработки к завершенности.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Относительно устаревшая технология, заложенная в модель;</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой;</p> <p>Сл3. Необходимость больших компьютерных ресурсов и времени для разработки, усовершенствования, а также апробации модели, на основе которой строится КТ;</p> <p>Сл4. Отсутствие современного оборудования для проведения испытания опытного образца;</p> <p>Сл5. Недостаточное количество производственных данных на этапе разработки, необходимых для апробации КТ.</p>
--	--	---

Продолжение таблицы Г 4

<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Возможность унификации модели и тренажера под конкретное производство В3. Заинтересованность производителей в компьютерных тренажерах В4. Развитие газовой отрасли в целом</p>	<p>1. Наличие удобного интерфейса для работы с программой, возможность постпродажного обслуживания ПО, а также невысокая стоимость позволит реализовать продукт на рынке. В1С2С3С4С5 2. Благодаря системе лицензирования будет иметь возможность получения дохода в течение долгого периода В2С1С2С3С5 3. Рассматривается дополнительная возможность использования для исследований, имеющие схожие практические цели В3С1С2С3 4. Данная технология актуальна на сегодняшний день для газовых и газоконденсатных месторождений Западной Сибири и в остальной России В4С3С4С5</p>	<p>1. Необходима разработка универсального тренажера, способного описывать работу различных технологических процессов, что позволит в дальнейшем использовать его для других технологий В1Сл1Сл2Сл3Сл4Сл5 2. Необходимость проводить различные семинары, тренинги и т.д. с целью повышения квалификации кадров у потребителя В2Сл2Сл3 3. В случае необходимости, необходимо будет приобрести дополнительное оборудование для расширения технических возможностей КТ В3Сл3 4. Необходимость дополнительной настройки программы специально обученным специалистом на месте применения разрабатываемого ПО В4Сл5</p>
--	---	--

Продолжение таблицы Г 4

<p>Угрозы: У1. Отказ производителя от технологии НТС в пользу других, для которых нет возможности на данном этапе подготовить КТ У2. Развитая конкуренция в данном секторе экономики. У3. Вероятность низкой сходимости с реальным производством из-за недостаточно проработанной модели процесса У4. Отсутствие большой клиентской базы на начальном этапе реализации на рынке</p>	<p>1. Необходимо решить ряд маркетинговых и организационных задач: при изменении требований к ПО потребуется либо дополнительные временные ресурсы, либо подключение дополнительного количества специалистов в данной области У1С4С5 2. Постоянное повышение качества продукта при сохранении конкурентной стоимости У2С1С2С3С4С5 3. Программа имеет возможность быстрого задания состава сырого природного газа, что способствует необходимому подбору верных технологических параметров У3С5 4. Для повышения конкурентоспособности и на этапе разработке уже необходимо предлагать продукт потенциальным клиентам, в идеале, заключение долгосрочных контрактов У4С3</p>	<p>1. Закупка необходимых изделий и различного оборудования для разработки данной технологии У1Сл4Сл5 2. Закупки необходимого сырья для проведения исследования и тестовых запусков в соответствующих адекватных объемах У2Сл2 3. Существует вероятность технологических ошибок в процессе работы модели и, соответственно, установки У3Сл3Сл4Сл5 4. Необходимость в заранее оговоренных договоренностях с партнерами о постоянной модернизации программы в силу ее недоработанности, масштабов проблемы и развитой конкуренции во избежание различных недопониманий У4Сл3Сл4</p>
--	--	--

Таблица Г 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Изучение технологии процесса	Бакалавр
	3	Обзор современной периодической литературы по выбранному направлению	Бакалавр
	4	Ознакомление с экспериментальными данными	Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Теоретическое обоснование выбора методик расчета, создание математической модели	Руководитель, бакалавр
	6	Обработка результатов	Бакалавр
	7	Корректировка модели и ее улучшение	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	8	Обсуждение результатов	Руководитель, бакалавр
Разработка технической документации и проектирование	9	Оформление пояснительной записки	Бакалавр
	10	Рецензирование	Бакалавр
Оформление комплекта документации по ВКР	11	Подготовка к защите дипломной работы	Бакалавр
	12	Защита дипломной работы	Бакалавр