

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет инженерно-физический
Кафедра химии и химической технологии
Направление подготовки 18.03.01 – Химическая технология
Направленность (профиль) образовательной программы Химическая технология
природных энергоносителей и углеродных материалов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ Ю.А. Гужель
«__» _____ 2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Оптимизация технологических процессов переработки углеводородного сырья с помощью современных цифровых инструментов на примере Амурского ГПЗ

Исполнитель
студент группы 918-об _____ А. Я. Мельников
(подпись, дата)

Руководитель
доцент, канд. техн. наук _____ Ю. А. Гужель
(подпись, дата)

Консультант по безопасности
жизнедеятельности
доцент, канд. техн. наук _____ А. В. Козырь
(подпись, дата)

Нормоконтроль
проф., док. хим. наук _____ Т. А. Родина
(подпись, дата)

Благовещенск 2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Инженерно-физический
Кафедра Химии и химической
технологии

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____ Ю.А.

Гужель

«___» _____ 20__

г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Мельникова Анатолия Яковлевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Оптимизация технологических процессов переработки углеводородного сырья с помощью современных цифровых инструментов на примере Амурского ГПЗ» утверждена Приказом от 20.04.2023 г № 951-уч.

2. Срок сдачи студентом законченной работы 09.06.2023 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Производительность установки по сырью – 600 т/ч. Температура сырьевого газа – 2-3 °С, давление сырьевого газа – 7,4 МПа. Литературные данные. Технологическая документация, нормативная и иная документация.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по методам разделения углеводородного сырья. Характеристика сырья и готовой продукции установки. Описание технологической схемы установки. Моделирование и расчет технологической линии Амурского ГПЗ. Описание модернизации установки. Безопасность и экологичность производства.

5. Перечень материалов графической части: Математическая модель технологической линии переработки углеводородного сырья.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А.В., канд. техн. наук, доцент – раздел «Безопасность и экологичность производства».

7. Дата выдачи задания 25.04.2023 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Гужель Юлия Александровна, канд. техн. наук, доцент

Задание принял к исполнению 25.04.2023 г.

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 52 с., 23 рисунка, 1 таблицу, 40 источников

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРОЦЕССЫ, КОНДЕНСАЦИЯ, СЕПАРАЦИЯ, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЕ, ОСУШКА, РЕКТИФИКАЦИЯ, ГАЗОФРАКЦИОНИРОВАНИЕ, ДЕМОТАНИЗАТОР, ДЕЭТАНИЗАТОР, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ХОЛОДИЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для выполнения работы был произведен подбор и анализ литературы для рассмотрения широко применяемых способов разделения природного газа на индивидуальные компоненты или их группы. Исследован технологический процесс разделения газа на АмГПЗ.

Выполнено моделирование и оптимизация параметров работы основного и вспомогательного оборудования одной производственной линии завода. Для расчётов было использовано специализированное программное обеспечение. Рассмотрены основные опасности на производстве и способы профилактики несчастных случаев, опираясь на принятые в промышленной сфере требования к безопасной организации труда и организации рабочего места, санитарные нормы и правила.

					<i>ВКР.262835.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб</i>		<i>Мельников А.Я.</i>			<i>Оптимизация технологических процессов переработки углеводородного сырья с помощью современных цифровых инструментов на примере Амурского ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>У</i>	<i>3</i>	<i>52</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИФФ, гр.918-об</i>		
<i>Утв</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	7
1.1 Общие сведения об Амурском газоперерабатывающем заводе	7
1.2 Характеристика углеводородных компонентов газа	8
1.3 Характеристика методов разделения углеводородного сырья	19
1.3.1 Низкотемпературная конденсация.....	10
1.3.2 Низкотемпературная адсорбция.....	11
1.3.3 Низкотемпературная ректификация	14
1.3.4 Низкотемпературная абсорбция.....	16
1.3.5 Мембранный метод.....	18
1.4 Методы получения холода.....	19
1.5 Осушка природного газа	22
1.6 Оптимизация низкотемпературных процессов	25
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	27
2.1 Характеристика сырья и продуктов установки	27
2.2 Описание линии АмГПЗ	28
2.3 Моделирование и расчет	30
2.3.1 Установка осушки и очистки газа.....	31
2.3.2 Установка выделения азотно-гелиевой смеси	32
2.3.3 Установка концентрирования и затаривания гелия	37
2.3.4 Установки очистки ШФЛУ и его газофракционирования	38
2.4 Оптимизация установок	40
3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА	42
3.1 Воздействие на гидросферу химических соединений установки осушки углеводородных газов	42

ВКР.262835.180301.ПЗ

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата				
Разраб		Мельников А.А.			<i>Оптимизация технологических процессов переработки углеводородного сырья с помощью современных цифровых инструментов на примере Амурского ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Пров		Гужель Ю.А.				У	4	52
Н. Контр.		Родина Т.А.				<i>АмГУ, ИФФ, гр.918-об</i>		
Утв		Гужель Ю.А.						

3.2 Общая характеристика опасностей производства	43
3.3 Средства индивидуальной защиты и системы безопасности.....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	49

					<i>ВКР.262835.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

ВВЕДЕНИЕ

Природный газ – это полезное ископаемое, представляющее собой смесь газообразных углеводородов, состоящую из метана и его ближайших гомологов. Зачастую в составе природного газа также присутствуют незначительные примеси углекислого газа, сероводорода, или более ценных азота и гелия

Из-за своего состава природный газ – это очень ценное сырье, из которого выделяют отдельные компоненты используемых как конечные продукты направляющиеся в дальнейшем на переработку, в более ценные продукты без которых трудно представить современную жизнь.

Целью бакалаврской работы являются закрепление теоретических знаний, полученных во время аудиторных и практических занятий в период обучения, развитие профессиональных компетенций путем применения навыков поиска и анализа научно-технической литературы и документации. Оптимизировать процесс установок Амурского газоперерабатывающего завода при помощи моделирования технологических схем установок процесса.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

- 1) Осуществить подбор и глубокий анализ научно-технической документации литературы для рассмотрения способов разделения природного газа.
- 2) Смоделировать технологическую схему установок Амурского газоперерабатывающего завода.
- 3) Выполнить возможную оптимизацию основного и вспомогательного оборудования с применением специализированного пакета программного обеспечения.
- 4) Рассмотреть основные опасности производства и методы их профилактики, опираясь на требования к безопасной труда и санитарные нормы и правила.

					<i>ВКР.262835.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб</i>		<i>Мельников А.Я.</i>			<i>Оптимизация технологических процессов переработки углеводородного сырья с помощью современных цифровых инструментов на примере Амурского ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Проб</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>У</i>	<i>6</i>	<i>52</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИФФ, гр.918-об</i>		
<i>Утв</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Общие сведения об Амурском газоперерабатывающем заводе

Амурский газоперерабатывающий завод (АмГПЗ), возводимый в Дальневосточном федеральном округе РФ, в Свободненском районе Амурской области, выступает ключевым элементом восточной газовой программы ПАО «Газпром» и неотъемлемой частью магистрального газопровода «Сила Сибири», который соединяет месторождения природного газа в Восточной Сибири с северо-западными провинциями Китая, тем самым способствуя экономическому развитию Дальнего Востока России. Амурский ГПЗ необходим для подготовки многокомпонентного газа, поступающего по газопроводу «Сила Сибири» с Якутского (Чаяндинское месторождение) и Иркутского (Ковыктинское месторождение) центров газодобычи, проектная мощность по переработки газа составляет до 42 млрд м³ в год [1].

Товарной продукцией Амурского ГПЗ является товарный газ, этановая, пропановая, бутановая и пентан-гексановая фракция, а также гелий [2]. Очищенный метан будет экспортироваться в Китай по трубопроводу «Сила Сибири». В состав АмГПЗ также входит крупнейший в мире комплекс по производству гелия производительностью до 60 млн м³ в год. Осуществление этих оригинальных проектов по переработке газа абсолютно не имеет аналогов в индустриальной истории «Газпрома». За разработку и реализацию проекта отвечает генеральный подрядчик «НИПИгазпереработка» (НИПИГАЗ, входит в состав группы СИБУР) [3].

Данный проект является практическим воплощением самой современной теории социально-экономических экосистем.

					ВКР.262835.180301.ПЗ			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб</i>	Мельников А.Я.				<i>Оптимизация технологических процессов переработки углеводородного сырья с помощью современных цифровых инструментов на примере Амурского ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров</i>	Гужель Ю.А.					У	7	52
<i>Н. Контр.</i>	Родина Т.А.					АмГУ, ИФФ, гр.918-об		
<i>Утв</i>	Гужель Ю.А.							

- точка кипения – температура, при которой компонент превращается из жидкого состояния в газообразное. Признак характеризуется в определении условий хранения и транспортировки газа;
- теплота сгорания – количество тепла, выделяемого при полном сгорании вещества. Это важное свойство для определения калорийности газа;
- плотность – определяет удельный вес газа и его способность смешиваться с другими веществами;
- теплопроводность – способность компонента передавать тепло. Данный параметр важен для определения эффективности теплообмена и проектирования оборудования для обработки газа;
- вязкость – определяет сопротивление потока газа через трубопроводы и оборудование.

1.3 Характеристика методов разделения углеводородного сырья

Природный газ – это сложная многокомпонентная углеводородная смесь, преобладающая метаном, этаном, пропаном, а также содержащая другие тяжелые углеводороды. Кроме углеводородных компонентов содержатся такие примеси, как азот, гелий, углекислый газ, сероводород. Природный газ играет основную роль в энергетическом балансе мира [5].

Поэтому разделение углеводородного сырья, извлечение таких ценных компонентов из природного газа остается востребованным на протяжении многих лет. Разрабатываются новые технологии по переработке газа, с выделением различного ассортимента продукции [6].

Процесс газодифракционирования достаточно сложный высокотехнологичный процесс. Который требует больших затрат на постройку и его проектирование. Существует множество различных организаций процесса, с целью повысить выход того или иного компонента, а также четкость разделения. Также развиваются и создаются более новые методы разделения [7].

В газоперерабатывающей промышленности для разделения природного газа используют следующие методы:

- низкотемпературная конденсация (НТК);
- низкотемпературная адсорбция (НТ-адсорбция);
- низкотемпературная ректификация (НТР);
- низкотемпературная абсорбция (НТА);
- мембранный метод.

1.3.1 Низкотемпературная конденсация

Низкотемпературная конденсация (НТК) – это процесс охлаждения газа до низких температур при постоянном давлении, вследствие которого появляется жидкая фаза. Далее поток разделяется в сепараторах газовой и жидкой фаз. Из-за невысокой четкости разделения современные схемы НТК включают колонну деэтанализатор или деметанизатор для отделения этана из пропан-бутановой фракции или метана из фракции C_{2+} [8].

Современные установки низкотемпературной конденсации подразделяются по числу ступеней на: одно-, двух- и трех- ступенчатые. После каждой конденсации производится сепарация образовавшейся двухфазной смеси с выводом жидкой фазы.

Установка низкотемпературной конденсации с турбодетандером представлена на рисунке 1.

Предварительно осушенный газ I захлаживается в обратных теплообменниках 8 и после отделения от него в сепараторе 2 сконденсированных углеводородов через турбодетандер 3 поступает в ректификационную колонну 4.

В нее же после одного из теплообменников поступает смесь сконденсированных углеводородов из сепаратора 2. Снизу колонны отбирают смесь всех сконденсированных углеводородов от этана и выше, а деэтанализированный газ сверху колонны, пройдя теплообменники 8, сжимается в турбодетандере энергией расширяющегося газа из сепаратора 2 и затем подается потребителю. Широкая фракция углеводородов III направляется на газофракционирующую установку, где от нее отбираются этановая фракция и фракции C_{3+} .

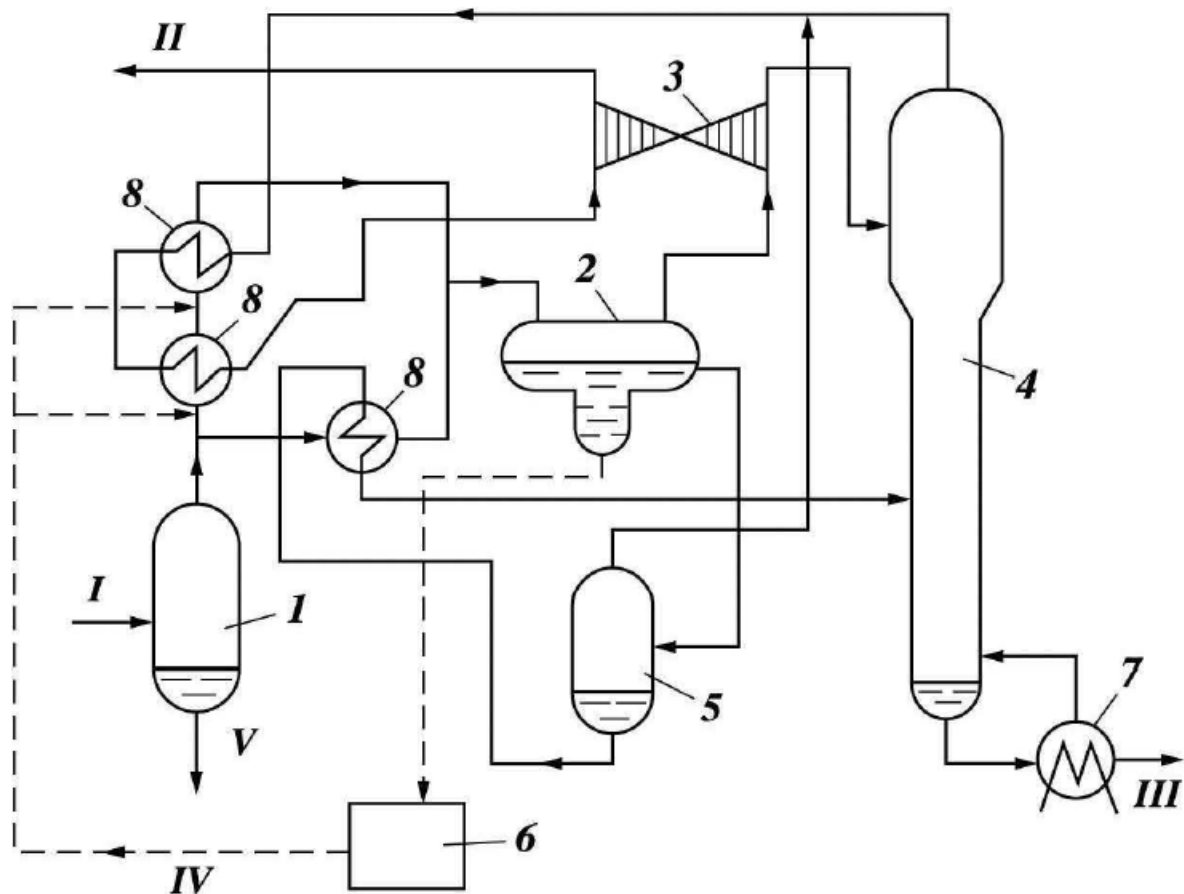


Рисунок 1 – Схема процесса низкотемпературной конденсации:

1, 2 – сепараторы 1-й и 3-й ступени; 3 – турбодетандер;

4 – ректификационная колонна; 5 – выветриватель конденсата;

6 – блок регенерации ингибитора гидратообразования; 7 – ребойлер;

8 – теплообменники; I и II – исходный и отсепарированный газ; III-ШФЛУ;

IV – ингибитор гидратообразования; V – конденсат сырого газа

1.3.2 Низкотемпературная адсорбция

Процесс низкотемпературной адсорбции используют, когда содержание извлекаемых компонентов в исходном газе очень мало, но при этом требуется получить продукт высокой чистоты. Метод НТ-адсорбции основан на избирательном поглощении компонентов твердым адсорбентом.

В газоперерабатывающей промышленности в основном используют адсорберы с неподвижным слоем адсорбента. В отличие от других процесс

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

11

разделения газа, низкотемпературная адсорбция применяется также для очистки гелия от микропримесей, также в процессе адсорбции происходит одновременно осушка газа. Основным недостатком данного метода являются высокие эксплуатационные затраты, поэтому процесс применяется редко [9].

Хорошая организация съёма тепла в адсорбере залог качественного конечного результата.

В настоящее время используют модернизированную версию данного процесса, короткоцикловую адсорбцию. Распространены два варианта короткоцикловых адсорбционных установок: с открытой и закрытой системой регенерации адсорбента. Технологическая схема короткоцикловой адсорбции с открытой системой регенерации адсорбента представлена на рисунке 2.

Исходный поток сырьевого газа поступает в сепаратор 1, где происходит отделение углеводородного конденсата, далее газ поступает сверху вниз в адсорбер 2. Отбензиненный и осушенный газ выходит с низа адсорбера и отдает свой холод в теплообменнике 4 и выходит с установки. Примерно 27 % исходного потока газа направляется через регулирующий вентиль 6, трехходовой клапан 7 и поступает в печь 8, где нагревается до 300 °С.

После этого горячий газ поступает сверху вниз адсорбера 9, находящегося на стадии регенерации. Адсорбент нагревается за счет контакта с газом до 200 °С, при этом тяжелые углеводороды и вода десорбируются и выходят в парообразном состоянии с низа адсорбера вместе с потоком газа.

Объединенный поток газов охлаждается в аппарате воздушного охлаждения 3, затем в теплообменнике 4, и при температуре около 20 °С пары воды и углеводородов конденсируются и разделяются в сепараторе 5. Газ на выходе смешивается с исходным потоком газа.

При предельной температуре регенерируемого слоя адсорбента трехходовой клапан 7 автоматически пропускает поток газа мимо печи 8. Холодный поток газа охлаждает слой адсорбента, и пройдя аппараты 3, 4, 5, смешивается с исходным потоком газа.

					<i>ВКР.262835.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

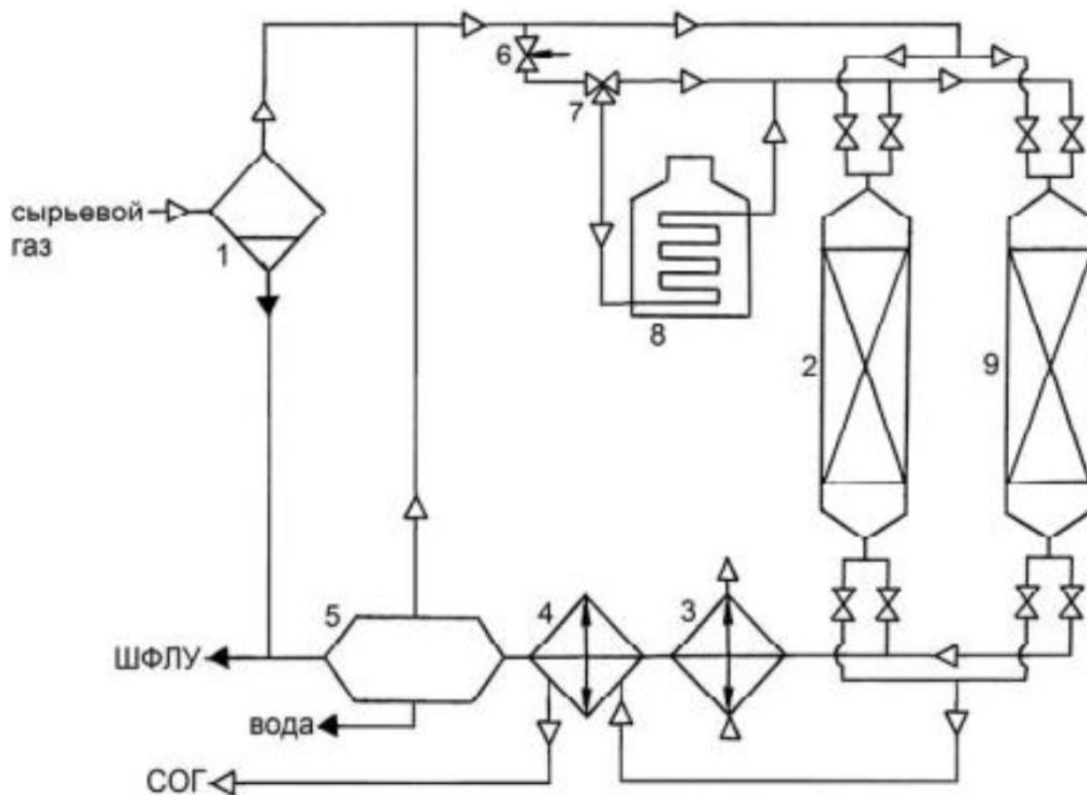


Рисунок 2 - Схема короткоцикловой адсорбции:

- 1, 5 – сепараторы; 2, 9 – адсорберы; 3 – аппарат воздушного охлаждения; 4 – теплообменник; 6 – регулирующий клапан;
7 – трехходовой клапан; 8 – печь

Продолжительность стадии адсорбции в адсорбере 2 равна продолжительности стадии десорбции и охлаждения в адсорбере 9. Затем адсорберы переключаются на противоположный режим работы.

Основным достоинством схемы с открытой системой регенерации состоит в компактности установки, простоте обслуживания, надежности в работе аппаратов, а также малые эксплуатационные затраты и расходы на ремонт. Недостатком является снижение производительности установки и ухудшение процесса конденсации десорбированных компонентов, за счет значительного расхода объема газа из сырьевого потока для регенерации адсорбента.

На установках с закрытой системой газ регенерации прокачивается специальным компрессором по замкнутому циклу без возвращения в основной поток. Достоинством таких установок является высокий выход конденсата,

Изм	Лист	№ док-м	Подпись	Дата

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

13

недостатком является сложная эксплуатация из-за наличия компрессора в схеме установки.

Короткоцикловая адсорбция основывается на слабой адсорбции легколетучих соединений с низкой полярностью, таких как водород или гелий, по сравнению с углеводородами. Таким образом данный процесс позволяет селективно поглощать большую часть примесей гелийсодержащего потока и получать товарный гелий высокой частоты [10].

Основным преимуществом является, что процесс протекает при температуре окружающей среды, что не требует энергозатрат на создание холода, тепло для генерации также не требуется, срок службы адсорбента составляет пять лет. Изменение температуры обосновано только теплом адсорбции и десорбции и понижением давления.

1.3.3 Низкотемпературная ректификация

Низкотемпературная ректификация – представляет собой разделение двухфазного потока вследствие частичной его конденсации. Разделение проводят в колоннах с насадкой или тарельчатыми устройствами

В сравнении со схемой низкотемпературной абсорбции, процесс низкотемпературной ректификации эффективнее и проще. Главной особенностью установки является поступление на установку сырья в ректификационную колонну без предварительного его разделения в сепараторе.

В зависимости от схемы установки низкотемпературной ректификации ректификационные колонны подразделяют на ректификационно-отпарные и конденсационно-отпарные.

В первом случае исходный поток природного газа охлаждается последовательно в теплообменнике обратным потоком сухого газа и в холодильнике, вследствие чего частично конденсируется и без предварительной сепарации направляется в среднюю часть колонны.

Во втором случае природный газ охлаждается в теплообменнике обратным потоком сухого газа, доохлаждается в холодильниках с внешним хладагентом

и направляется в сепаратор, откуда отбензиненный газ выводится с установки, а сконденсировавшие углеводороды поступают в верхнюю часть ректификационной колонны. В этом случае снижается основная нагрузка на ректификационную колонну, за счет отделения основного количества газа в сепараторе.

Отбензинивание ПГ методом НТР с двухпоточным вводом позволяет снизить энергозатраты примерно на 15 % и осуществлять процесс при более жестких условиях. В этой схеме, представленной на рисунке 3, одна его часть (60 %) поступает без охлаждения в среднюю часть колонны 5, а вторая часть (40 %) охлаждается в рекуперативном теплообменнике 1 обратным потоком сухого газа, отводимым с верха ректификационной колонны [8].

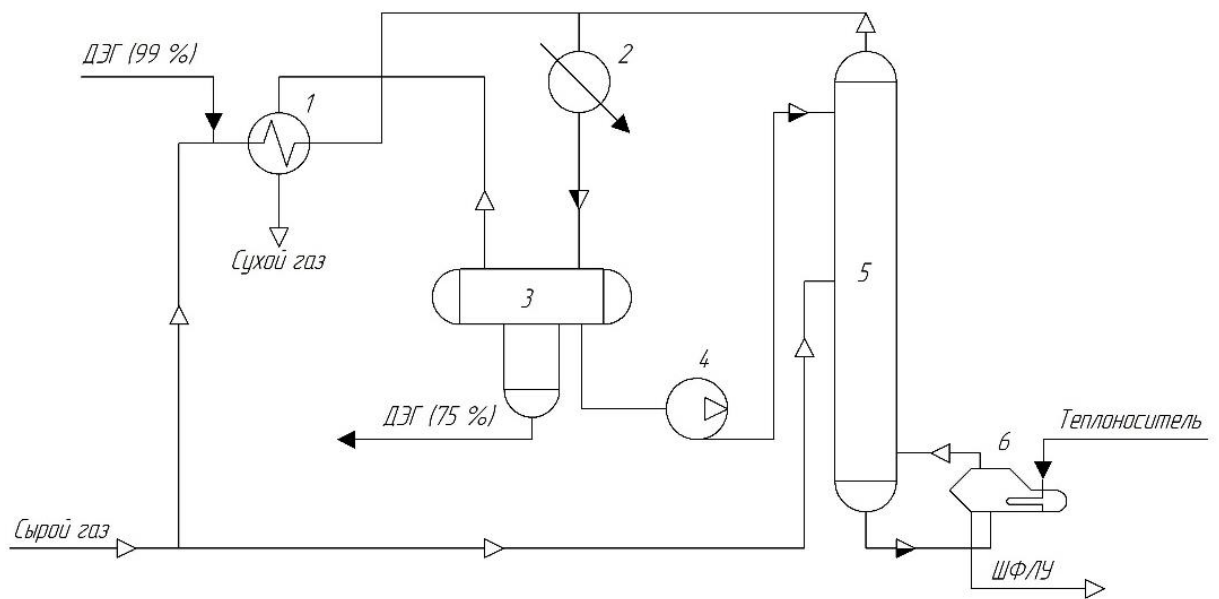


Рисунок 3 – Схема НТР с двухпоточным вводом сырья:

- 1 – теплообменник; 2 – пропановый испаритель; 3 – трехфазный сепаратор;
4 – насос; 5 – ректификационная колонна; 6 – ребойлер

Чтобы в процессе не образовывались газогидраты в поток на входе в установку впрыскивают гликоль. После ТО охлажденный сырьевой поток смешивается с верхним продуктом ректификационной колонны, дополнительно охлаждается в пропановом испарителе 2 до температуры минус 26 °С и, частично сконденсировавшись, поступает на разделение в трехфазный сепаратор 3. В

нижней части сепаратора собирается гликоль и углеводородный конденсат. Гликоль направляется на регенерацию.

Сухой газ (товарный) после охлаждения входного потока газа направляется потребителю. Часть ШФЛУ, отбираемой с куба колонны направляется в ребойлер 6 для поддержания температурного режима низа колонны. Энергозатраты снижаются примерно на 12 % – 15 % и процесс осуществляется при более высоких температурах.

Для создания более глубокого холода применяют процесс дросселирования и детандирования технологических потоков.

1.3.4 Низкотемпературная абсорбция

Метод низкотемпературной абсорбции основан на избирательном поглощении компонентов газа в жидкой фазе (абсорбенте) при низких температурах, с последующим выделением извлеченных компонентов при десорбции.

На эффективность процесса НТА влияют следующие параметры: температура, давление, состав исходного газа, требуемое качество продукта, число теоретических тарелок, природа и физико-химические свойства абсорбента. В качестве хладогента обычно используют пропан при температуре от минус 30 °С до минус 40 °С. При данном диапазоне температур при соответствующем расходе абсорбента извлечение этана достигает 45 %, пропана 95 % и 100 % газового бензина.

Основной характеристикой, влияющей на эффективность НТА, является температурный режим процесса. Так как НТА является экзотермическим процессом, наблюдается выделение большого количества теплоты в верхней части абсорбера, где в основном отбирают метан и этан. Вследствие этого необходимо организовать хороший теплоотвод по высоте абсорбера для более полного извлечения целевых компонентов (пропана, бутанов). Охлаждение абсорбента производят в теплообменниках, которые вмонтированы в абсорбер, или в выносных теплообменниках. Также одним из способов для нормализации темпера-

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

16

первый проходит через мембрану (пермеат), второй уносит с собой часть компонентов смеси (ретант).

Сущность процесса мембранного разделения состоит в следующем, разделяемая в аппарате исходная (газовая или жидкая, бинарная или многокомпонентная) смесь веществ соприкасается с полупроницаемой мембраной с одной ее стороны. Прошедший через нее фильтр (пермеат) обогащается одним из компонентов исходной смеси. Разделение может быть настолько полным, что в фильтрате практически не содержатся примеси тех компонентов исходной смеси, которые задерживаются мембраной и отводятся из аппарата с другой стороны мембраны в виде протока концентрата (ретентата). Мембранное разделение характеризуется прежде всего следующими параметрами всех мембран: проницаемостью, селективностью и стабильностью во времени. Проницаемость – это удельная производительность мембраны, равная количеству фильтрата, через единицу поверхности мембраны, или это скорость процесса мембранного разделения. Селективность мембраны (фактор разделения) характеризует эффективность (полноту) процесса мембранного разделения по отношению к целевому (ключевому) компоненту.

Для проведения мембранного разделения используют блоки различных конструкций: трубчатые, рулонные, плоскокамерные, с полыми волокнами. Для изготовления полупроницаемых мембран применяют различные материалы:

- полимерные пленки (полиэтиленовые, полипропиленовые, поликарбонатные, фторопластовые и др.);
- металлическую фольгу (из сплавов платины, палладия, серебра, молибдена и др.);
- пористые стекла (натрийборосиликатные) и др.

Данные методы разделения применяются для комплексного извлечения из природного газа различных компонентов [3].

1.4 Методы получения холода

Производство «холода» на любом заданном уровне ниже температуры окружающей среды осуществляется в системах, реализующих тот или иной

					<i>ВКР.262835.180301.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		19

газа и потока газовой фазы хладагента высокого давления. Природный газ поступает на установку сжижения под давлением 5–6 МПа, при прохождении криогенного теплообменника охлаждается, конденсируется и переохлаждается. Выйдя из теплообменника при высоком давлении, сжиженный природный газ расширяется в дросселе или детандере до давления, при котором СПГ будет храниться, и направляется в криогенный резервуар для хранения [11].

1.5 Осушка природного газа

Осушка – это процесс удаления воды, содержащейся в газах. Поскольку все процессы переработки углеводородного газа проводятся при чрезмерно низких температурах, сырьевой газ подвергается особо тщательному контролю по содержанию влаги. Следовательно, данный этап необходим для нормализации условий исправной работы оборудования, а также для продления срока её службы и качества выполняемой работы.

В пластовых условиях природный газ контактирует с водой. Количество влаги в состоянии насыщения газа при данных температуре и давлении характеризует влагосодержание газа. Присутствие влаги в газе нежелательно, поскольку влага может образовывать гидраты с углеводородными компонентами, что приводит к проблемам транспортировки газа.

Образование гидратов является важной проблемой при эксплуатации газопроводов. Отложения гидратов на внутренних стенках труб резко снижают их проницаемость, что часто является причиной аварийного отключения трубопровода. Значительные расходы нефтегазовых компаний при транспортировке газа напрямую связаны с затратами на предотвращение гидратообразований [12].

Содержание воды в природном газе зависит от температуры, давления и состава. Чем выше температура и ниже давление пласта, тем больше водяного пара содержится в природном газе. Чем выше содержание тяжелых компонентов, сероводорода (H_2S) и углекислого газа (CO_2) в природном газе, тем выше содержание воды [13].

Наиболее широкое распространение в качестве абсорбентов получили гликоли, в частности диэтиленгликоль (ДЭГ) и триэтиленгликоль (ТЭГ). В качестве осушителей первоначально использовались глицерин и этиленгликоль, обладающие более низкой стоимостью. Затем перешли на менее летучие компоненты – ДЭГ и ТЭГ. В России использование в качестве абсорбента ТЭГ из-за его цены носит единичный характер, хотя за рубежом ТЭГ широко используется благодаря такому технологическому преимуществу, как низкие потери в системе осушки. Производные ДЭГ и ТЭГ, а также побочные продукты, образующиеся при их производстве (тетраэтилкарбинол, пропиленгликоль), не нашли широкого применения в качестве абсорбентов, так как образуют трудно регенерируемые компоненты.

Другой способ – это осушка прямым охлаждением. В основе данного метода лежит охлаждение газа при неизменном давлении. В результате протекания процесса избыточная влага конденсируется, а затем удаляется из процесса. При этом точка росы газа значительно снижается.

Этот метод является физическим и применяется только для предварительного извлечения основного содержания влаги перед применением более глубоких методов осушки. Используется на установках низкотемпературной сепарации с впрыском ингибиторов гидратообразования.

Прямое охлаждение может осуществляться в комбинации с другими методами. Самостоятельного применения в промышленности этот метод не нашел, поскольку не обеспечивает глубокую осушку газа, а, следовательно, и высокую депрессию точки росы. В отделенном от осушенного газа водном конденсате остается некоторое количество растворенного газа, что приводит к потерям природного газа [8].

Адсорбционная осушка – это процесс селективного поглощения молекул воды из газовой смеси твердым поглотителем (адсорбентом) с последующим извлечением внешними воздействиями (повышением температуры или снижением давления). Метод эффективен в тех случаях, когда требуется депрессия точки росы до 100 °С [15].

Процесс осушки включает три стадии:

- адсорбция;
- горячая регенерация адсорбента;
- охлаждение адсорбента.

Продолжительность цикла адсорбции составляет 12 часов, с возможностью коррекции содержания воды в сырьевом газе. Каждый слой адсорбента регенерируется в течение 6 часов, а затем охлаждается в течение 6 часов, после чего переходит в режим адсорбции. Адсорбция проводится при температуре от 35 °С до 50 °С, давлении от 8 МПа до 12 МПа. Продолжительность контакта адсорбента с газом составляет не более 10 секунд.

Затем начинается процесс регенерации адсорбента – это вытеснение из пор адсорбента молекул воды с помощью нагрева. Нагрев производится горячим газом из трубчатого нагревателя. Регенерация (десорбция) начинается, когда температура адсорбента достигает 160 °С для силикагелей, или 280 °С для цеолитов. Процесс охлаждения начинается после завершения десорбции, при этом продувка осуществляется исходным холодным газом.

В качестве адсорбентов применяют силикагели, алюмосиликаты, активированный оксид алюминия, бокситы и молекулярные сита (цеолиты). Молекулярные сита одновременно с водой поглощают сероводород и углекислый газ, таким образом происходит не только осушка, но и очистка от кислых компонентов.

1.6 Оптимизация низкотемпературных процессов

Модернизация и оптимизация – это основная задача ведения процессов при низких температурах. Для повышения эффективности процесса важная комбинация аппаратов и установок, например, разделительной колонны с холодильным циклом и рекуперативным теплообменником [4,8].

Конструктивное оформление установок НТР имеет ряд особенностей:

- возможность исключения холодильника-конденсатора ректификационной колонны для верхнего продукта и возможность ее работы как исчерпывающей колонны;

- использование внешних или внутренних холодильных циклов.

В современных процессах газовой промышленности важную роль играют холодильные циклы, позволяющие получать температуры в интервале от температуры окружающей среды до температуры жидкого гелия [16].

Холодильные циклы являются основной частью в организации температурных процессов.

Модернизацию низкотемпературных процессов можно осуществить по следующим направлениям:

- повышение энергоэффективности блока компримирования, тесно связано с совершенствованием двигателей компрессоров, ведением технологического процесса и конструкцией проточной части компрессоров;
- применение современных холодильных машин взамен устаревшей технологии дросселирования газа;
- модернизация змеевиков трубчатых печей для увеличения теплопередачи, использования новых перспективных материалов и новейших поглощающих покрытий;
- повышение эффективности ректификации как за счет применение улучшенных контактных элементов [8, 13].

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Характеристика сырья и продуктов установки

Природный газ – это смесь углеводородов ряда алканов, которая может содержать различные компоненты (такие как азот, гелий, диоксид углерода). Состав газа не является постоянным и изменяется по мере эксплуатации скважины.

Состав газа, поступающего на АмГПЗ, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав газа

Компонент	Химическая формула	Мольное содержание %
Метан	CH ₄	85,09
Этан	C ₂ H ₆	4,62
Пропан	C ₃ H ₈	1,50
н-Бутан	n-C ₄ H ₁₀	0,19
и-Бутан	i-C ₄ H ₁₀	0,37
н-Пентан	n-C ₅ H ₁₂	0,08
и-Пентан	i-C ₅ H ₁₂	0,07
Гексан	C ₆ H ₁₄	0,05
Гептан	C ₇ H ₁₆	0,01
Гелий	He	0,14
Кислород	O ₂	0,07
Водород	H ₂	0,02
Вода	H ₂ O	0,81
Азот	N ₂	6,27
Метанол	CH ₃ OH	0,7
Итого	-	100,00

В год на одну линию завода поступает 31359,96 тыс. тонн в год

Продуктами данной установки являются:

- метановая фракция;
- этановая фракция;
- ШФЛУ.

					ВКР.262835.180301.ПЗ			
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Оптимизация технологических процессов переработки углеводородного сырья с помощью современных цифровых инструментов на примере Амурского ГПЗ	Лит.	Лист	Листов
Разраб		Мельников А.Я.				У	27	52
Пров		Гужель Ю.А.						
Н. Контр.		Родина Т.А.						
Утв		Гужель Ю.А.						АмГУ, ИФФ, гр.918-об

Метан направляют в компрессоры для повышения давления потока до 6,8 МПа и выводят с установки как топливный, товарный газ в магистральный трубопровод. Товарный природный газ (ПГ) должен отвечать требованиям ГОСТ 5542-87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия» [17].

Этановую фракцию выводят с установки как готовую продукцию и в дальнейшем используют в качестве сырья в нефтехимии. На заводе получают этан высокой чистоты с 0,001 % мол. содержанием метана и отсутствием примесей других фракций. В будущем этан с АмГПЗ будет сырьем для установки пиролиза АмГХК. Где будут получать этилен, который используется для производства полимеров, этилового спирт, глицерина, этиленгликоля, дихлорэтана, хлористого этила и т.д. При дальнейшей переработке этих веществ получают лаки, растворители, красители, моющие вещества, полиэтилен. Этановая фракция, отводимая с установки, должна соответствовать требованиям ТУ 0272-022-00151638-99 «Фракция этановая. Технические условия» [18].

ШФЛУ направляется на очистку и газофракционирование. Продукцией перерабатывающего завода является товарные пропан, бутан и фракция C_{5+} с содержанием примесей менее 0,0001 % из которых на ГХК будут получать каучук, пластмассы, растворители, компоненты высокооктановых бензинов. Широкая фракция углеводородов должна отвечать требованиям ТУ 38.101524-93 «Фракция широкая легких углеводородов. Технические условия» [19].

2.2 Описание моделируемой линии АмГПЗ

Для построения модели и расчета установок было использовано специализированное программное обеспечение.

Схема реализуемого проекта изображена на рисунках 6 и 7.

На установку подается сырьевой газ из магистрального газопровода «Сила Сибири», газ нагревается и направляется на установку осушки и очистки газа. Где газ на цеолитах осушается до температуры точки росы минус 173 °С и очищается от соединений ртути активированным углем.

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

28

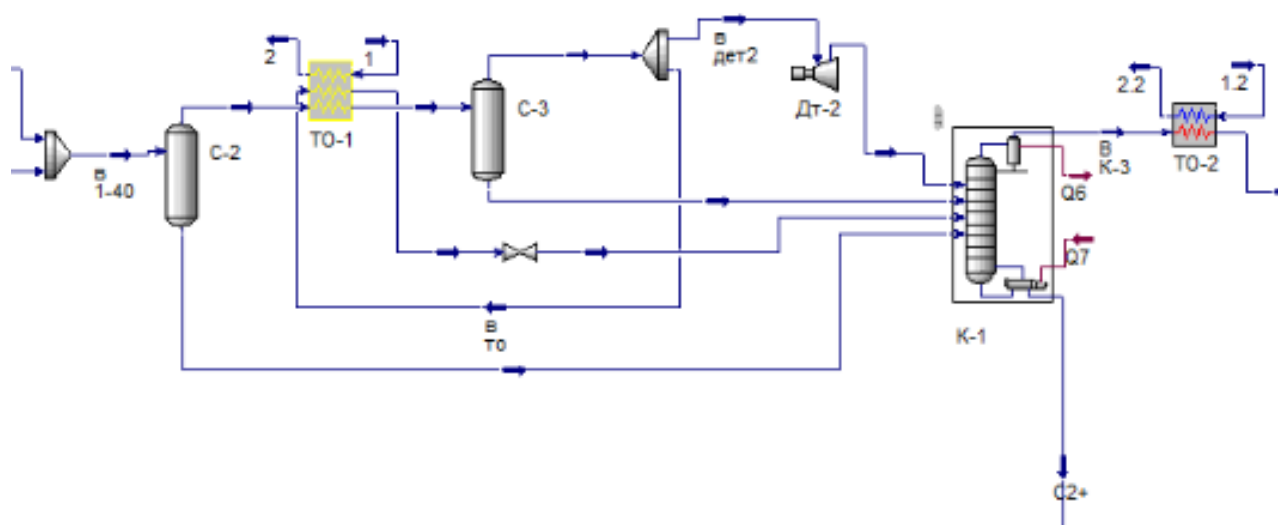
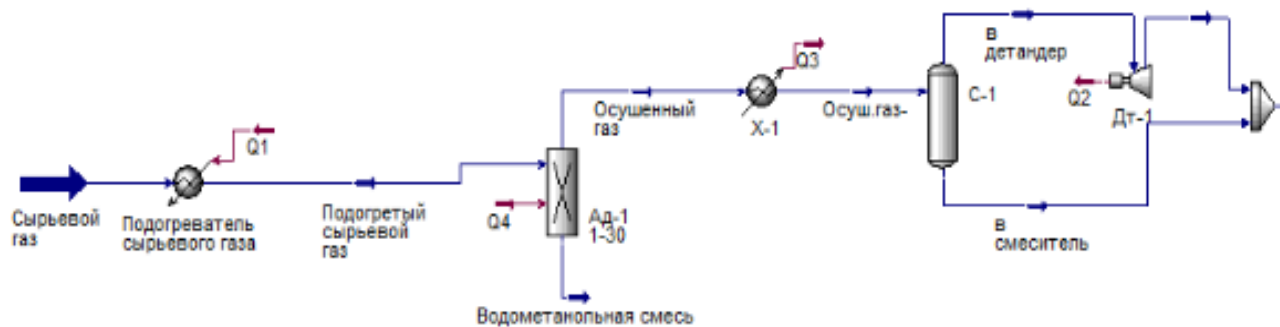


Рисунок 6 – Смоделированная схема проектируемой линии (часть 1)

Далее осушенный и очищенный газ направляется на установку криогенного выделения этана, азотно-гелиевой фракции и ШФЛУ из смеси природного газа. Метан (сухой газ) отправляется на установку компримирования газа, этан через теплообменники в товарный парк, и далее потребителю. ШФЛУ – на установку очистки ШФЛУ и далее на газофракционирующую установку, а азотно-гелиевая смесь – на установку концентрирования гелия.

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

29

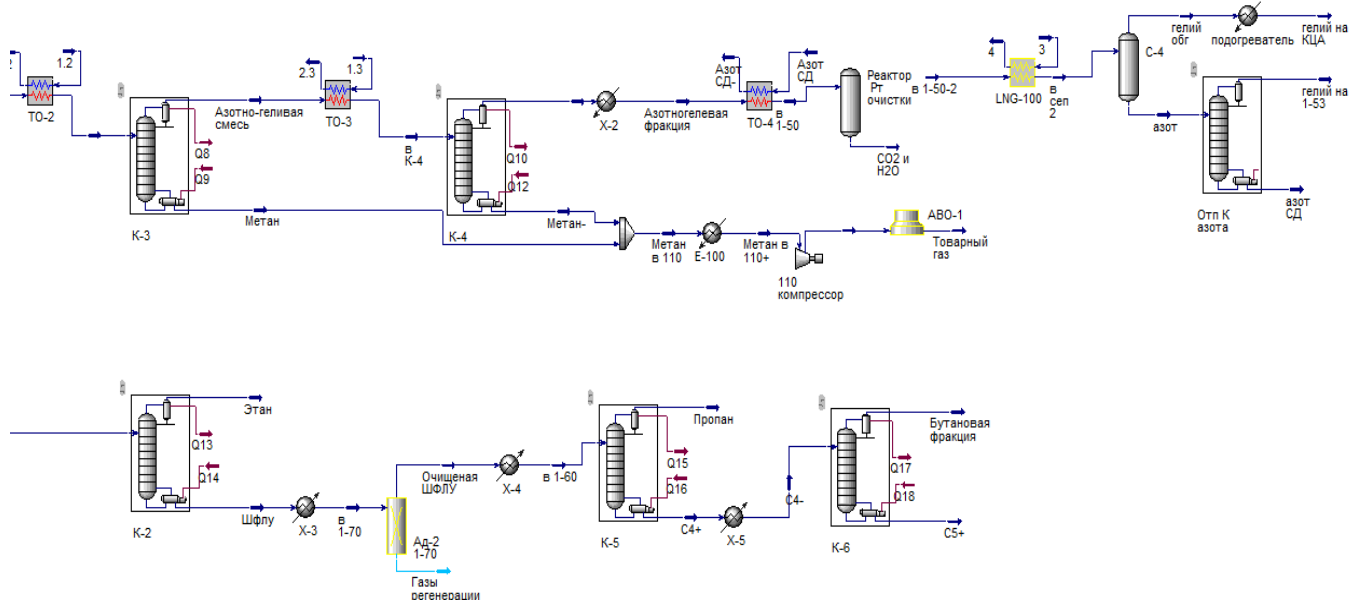


Рисунок 7 – Смоделированная схема проектируемой линии (часть 2)

Установка концентрирования гелия предназначена для выделений гелия высокой чистоты (99,97 % мол.) его последующего затаривания и хранения. А также для выделения азота для подпитки холодильных циклов.

На установке очистки ШФЛУ процессом адсорбции из потока газа удаляются примеси меркаптанов, сероводорода и метанола. Далее газ направляется на установку газодистилляции. Где из газа выделяют чистый пропан, бутан, и фракцию C₅₊.

Теперь рассмотрим каждую установку подробнее.

2.3 Моделирование и расчет

Для моделирования процессов и расчета был использован специальный программный пакет.

Для начала нужно создать поток газа, поступающего на установку, задать его температуру, давление, расход, а также мольное соотношение компонентов. Остальные характеристики рассчитываются автоматически.

Свойства сырьевого газа, поступающего на завод представлены на рисунке 8.

Далее все потоки будут рассчитаны программой в зависимости от установок, которые пройдет газ и требуемыми параметрами.

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

30

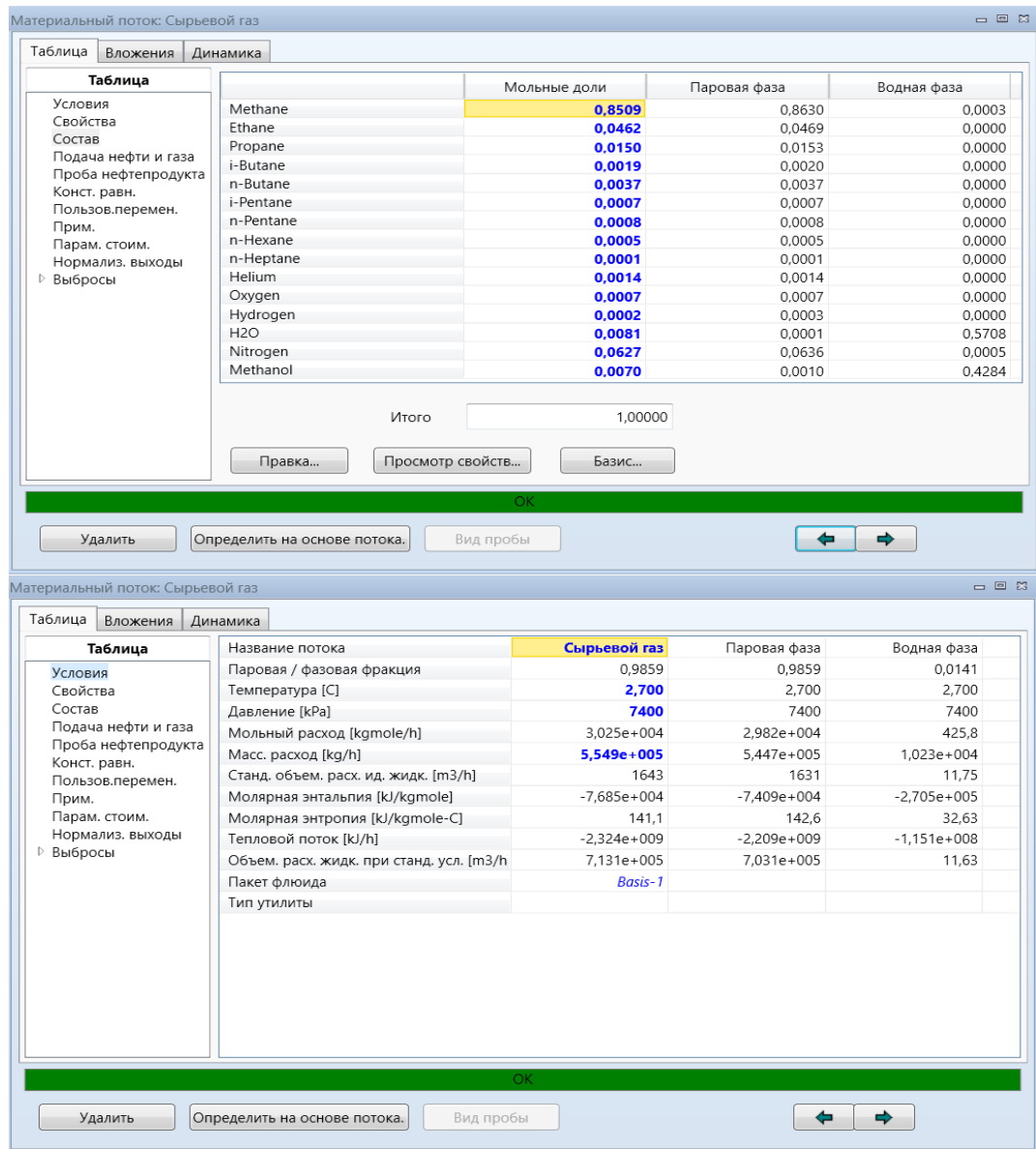


Рисунок 8 – Свойства сырьевого газа

2.3.1 Установка осушки и очистки газа

Газ давлением 7,4 МПа из магистрального газопровода, поступающий на установку, предварительно нагревается до 20 °С обратными потоками. И попадает в 4 адсорбера наполненными цеолитами, работающих в разных режимах, два непосредственно осушают газ, один регенерируется подогретым осушенным газом, и последний работает в режиме остывания. Адсорберы наполнены молекулярными ситами (цеолитами). Установка работает под давлением 7 МПа. После осушенный газ попадает в адсорбер удаления ртути, насадкой которого является активированный уголь. Затем осушенный и очищенный газ проходит рукавные

фильтры, отделяющие от потока унесенные частицы адсорбента. Далее газ направляется на установку выделения азотно-гелиевой смеси.

Состав потока после прохождения установки изображен на рисунке 9.

Материальный поток: Осушенный газ

Таблица	Мольные доли	Паровая фаза	Жидкая фаза
Условия			
Свойства			
Состав			
Подача нефти и газа			
Проба нефтепродукта			
Конст. равн.			
Пользов.перемен.			
Прим.			
Парам. стоим.			
Нормализ. выходы			
Выбросы			
Methane	0,8639	0,8639	0,4639
Ethane	0,0469	0,0469	0,1140
Propane	0,0153	0,0153	0,1098
i-Butane	0,0020	0,0020	0,0295
n-Butane	0,0037	0,0037	0,0780
i-Pentane	0,0007	0,0007	0,0308
n-Pentane	0,0008	0,0008	0,0468
n-Hexane	0,0005	0,0005	0,0766
n-Heptane	0,0001	0,0001	0,0382
Helium	0,0014	0,0014	0,0002
Oxygen	0,0007	0,0007	0,0003
Hydrogen	0,0003	0,0003	0,0000
H2O	0,0000	0,0000	0,0000
Nitrogen	0,0637	0,0637	0,0119
Methanol	0,0000	0,0000	0,0000
Итого		1,00000	

Панель управления: Правка..., Просмотр свойств..., Базис..., ОК, Удалить, Определить на основе потока, Вид пробы

Рисунок 9 – Состав осушенного и очищенного газа

2.3.2 Установка выделения азотно-гелиевой

Установка выделения азотно-гелиевой смеси (рисунок 10) предназначена для разделения газа на этан, метан, азотно-гелиевую смесь и ШФЛУ.

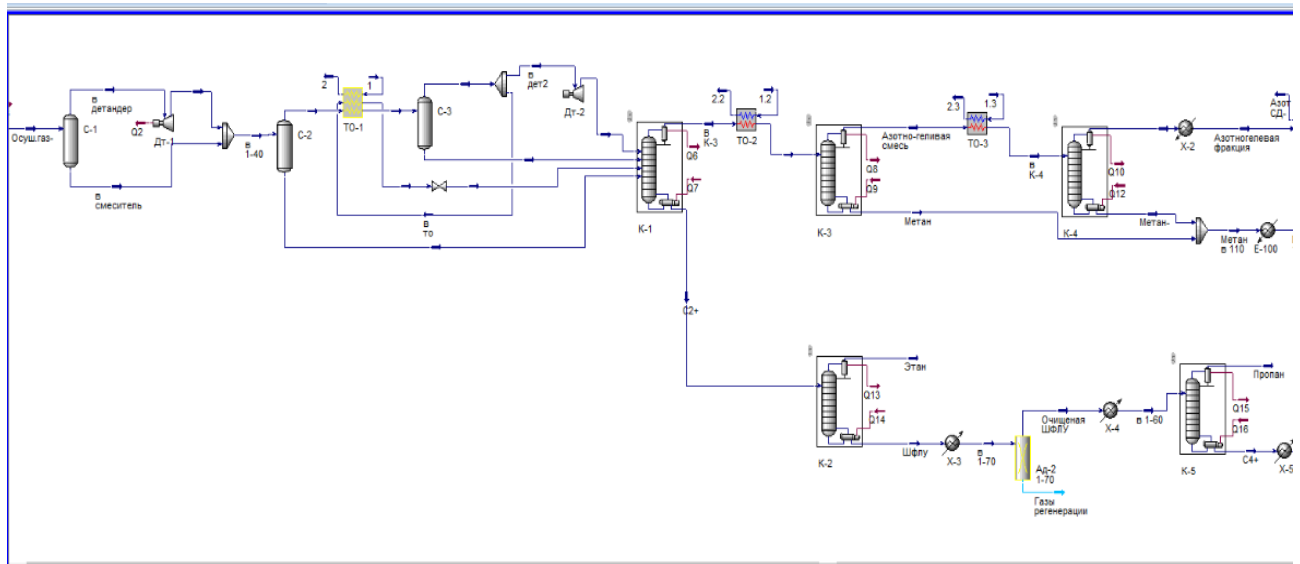


Рисунок 10 – Смоделированная схема установки выделения азотно-гелиевой смеси

Осушенный газ охлаждается в холодильнике X-1 до минус 45 °С , при этом частично оживаясь, и попадает в сепаратор С-1, режим работы которого

представлен на рисунке 11. Газовая фаза идет в детандер Дт-1 расширяется и охлаждается до минус 65 °С, далее он смешивается с потоком жидкой фазы из сепаратора. И попадает в сепаратор С-2 (рисунок 12), жидкая фаза направляется в колонну деметанизатор К-1, а газовая фаза проходит через обратный холодильник ТО-1 и охлаждается до температуры минус 78 °С. При этом часть потока конденсируется. Газожидкостной поток попадет в сепаратор С-3. Газ делится на два потока, первый детандируется в Дт-2 до температуры минус 90 °С и давления 3,1 МПа и попадает в колонну К-1, второй проходит ТО-1 и далее дросселируется до минус 105 °С и 2,8 МПа и также направляется в К-1. Жидкость из С-3 сразу идет в колонну деметанизатор.

Колонна деметанизации К-1 предназначена для отделения метана и более легких компонентов, таких как азот и гелий, от фракции C₂₊. Подвод тепла в колонну осуществляется паром низкого давления в ребойлер.

Параметры работы колонны К-1:

- число тарелок: 56
- давление верха 2,7 МПа
- температура верха минус 88 °С
- давление куба не более 2,8 МПа
- температура низа не более 20 °С

Проект	Реакции	Номинал	Таблица	Динамика
Таблица				
Имя		Осуш.газ-	в смеситель	в детандер
Условия	Пар	0,9837	0,0000	1,0000
Свойства	Температура [С]	-45,00	-45,00	-45,00
Состав	Давление [кПа]	6800	6800	6800
Характер. PF	Мольный расход [kgmole/h]	2,979e+004	484,8	2,930e+004
	Масс. расход [kg/h]	5,437e+005	1,439e+004	5,293e+005
	Станд. объем. расх. ид. жидк. [м3/h]	1630	34,16	1595
	Молярная энтальпия [kJ/kgmole]	-7,665e+004	-1,041e+005	-7,619e+004
	Молярная энтропия [kJ/kgmole-С]	132,3	104,5	132,7
	Тепловой поток [kJ/h]	-2,283e+009	-5,046e+007	-2,233e+009

Рисунок 11 – Параметры С-1

Проект				
Реакции				
Номинал				
Таблица				
Динамика				
Таблица	Имя	в 1-40	8	7
Условия	Пар	0,9304	0,0000	1,0000
Свойства	Температура [C]	-64,52	-64,52	-64,52
Состав	Давление [kPa]	4422	4422	4422
Характер. PF	Мольный расход [kgmole/h]	2,979e+004	2074	2,772e+004
	Масс. расход [kg/h]	5,437e+005	5,657e+004	4,872e+005
	Станд. объем. расх. ид. жидк. [м3/h]	1630	142,6	1487
	Молярная энтальпия [kJ/kgmole]	-7,699e+004	-1,011e+005	-7,519e+004
	Молярная энтропия [kJ/kgmole-C]	132,9	102,0	135,2
	Тепловой поток [kJ/h]	-2,294e+009	-2,097e+008	-2,084e+009

Удалить OK Игнор.

Рисунок 12 – Параметры С-2

Параметры колонны К-1 изображены на рисунке 13. Состав верхнего и нижнего продукта – на рисунках 14, 15 соответственно.

Кубовый остаток попадает в колонну дезтанизации К-2. В которой от ШФЛУ отделяется этан. Колонна оснащена 40 ситчатыми тарелками.

Верхний продукт охлаждается в азотном холодильнике и идет в К-3. Колонна отделения метана.

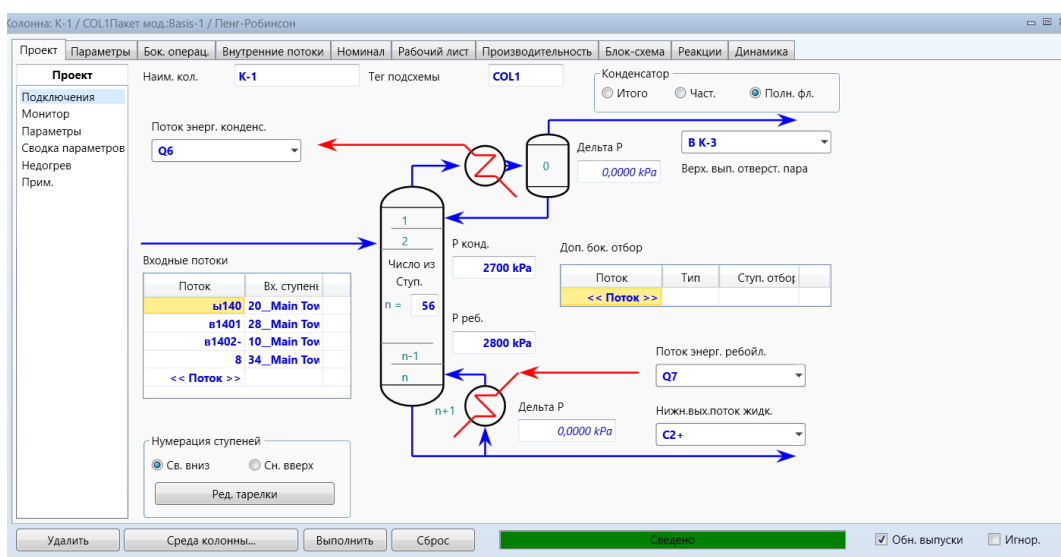


Рисунок 13 – Параметры К-1

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

34

Таблица				
Таблица				
		Мольные доли	Паровая фаза	Жидкая фаза
Условия	Methane	0,9289	0,9289	0,9761
Свойства	Ethane	0,0001	0,0001	0,0009
Состав	Propane	0,0000	0,0000	0,0000
Подача нефти и газа	i-Butane	0,0000	0,0000	0,0000
Проба нефтепродукта	n-Butane	0,0000	0,0000	0,0000
Конст. равн.	i-Pentane	0,0000	0,0000	0,0000
Пользов.перемен.	n-Pentane	0,0000	0,0000	0,0000
Прим.	n-Hexane	0,0000	0,0000	0,0000
Парам. стоим.	n-Heptane	0,0000	0,0000	0,0000
Нормализ. выходы	Helium	0,0015	0,0015	0,0001
Выбросы	Oxygen	0,0008	0,0008	0,0004
	Hydrogen	0,0003	0,0003	0,0000
	H2O	0,0000	0,0000	0,0000
	Nitrogen	0,0684	0,0684	0,0225
	Methanol	0,0000	0,0000	0,0000

Рисунок 14 – Состав верхнего продукта К-1

Материальный поток: С2+				
Таблица				
		Мольные доли	Жидкая фаза	
Условия	Methane	0,0000	0,0000	
Свойства	Ethane	0,6693	0,6693	
Состав	Propane	0,2184	0,2184	
Подача нефти и газа	i-Butane	0,0280	0,0280	
Проба нефтепродукта	n-Butane	0,0535	0,0535	
Конст. равн.	i-Pentane	0,0103	0,0103	
Пользов.перемен.	n-Pentane	0,0117	0,0117	
Прим.	n-Hexane	0,0073	0,0073	
Парам. стоим.	n-Heptane	0,0015	0,0015	
Нормализ. выходы	Helium	0,0000	0,0000	
Выбросы	Oxygen	0,0000	0,0000	
	Hydrogen	0,0000	0,0000	
	H2O	0,0000	0,0000	
	Nitrogen	0,0000	0,0000	
	Methanol	0,0000	0,0000	
	Итого	1,00000		

Рисунок 15 – Состав куба колонны К-1

Параметры колонны К-2:

- давление верха составляет 2,3 МПа
- температура верха 8 °С
- давление низа не более 2,35 МПа
- температура куба 77 °С

Продуктом колонны деэтанизатора является товарный этан и ШФЛУ, которая далее разделяется на индивидуальные компоненты в газофракционирующей установке. Составы потоков изображены на рисунке 16.

Параметры работы колоны К-3:

- число тарелок: 40
- давление верха 2,6 МПа
- температура верха минус 110 °С

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

35

Имя	вкЗ @COL2	Азотно-гелиевая смесь @COL2	Метан @COL2
Пар	0,3743	1,0000	0,0000
Температура [C]	-104,0	-111,7	-101,0
Давление [кПа]	2695	2600	2690
Мольный расход [kgmole/h]	2,771e+004	5547	2,216e+004
Масс. расход [kg/h]	4,669e+005	1,075e+005	3,594e+005
Станд. объем. расх. ид. жидк. [m3/h]	1447	266,0	1181
Молярная энтальпия [kJ/kgmole]	-7,832e+004	-5,830e+004	-8,426e+004
Молярная энтропия [kJ/kgmole-C]	113,7	126,0	104,8
Тепловой поток [kJ/h]	-2,170e+009	-3,234e+008	-1,867e+009

	вкЗ	Азотно-гелиевая смесь	Метан
Methane	0,9289	0,7029	0,9854
Ethane	0,0001	0,0000	0,0001
Propane	0,0000	0,0000	0,0000
i-Butane	0,0000	0,0000	0,0000
n-Butane	0,0000	0,0000	0,0000
i-Pentane	0,0000	0,0000	0,0000
n-Pentane	0,0000	0,0000	0,0000
n-Hexane	0,0000	0,0000	0,0000
n-Heptane	0,0000	0,0000	0,0000
Helium	0,0015	0,0077	0,0000
Oxygen	0,0008	0,0021	0,0004
Hydrogen	0,0003	0,0014	0,0000
H2O	0,0000	0,0000	0,0000
Nitrogen	0,0684	0,2860	0,0140
Methanol	0,0000	0,0000	0,0000

Рисунок 17 – Состав потоков и условия работы колонны К-3

2.3.3 Установка концентрирования и затаривания гелия

Установка предназначена для криогенного выделения гелия и последующей концентрации при помощи КЦА (короткоцикловая адсорбция). А также выделения азота, идущего как хладагент в холодильных циклах. Модель установки изображена на рисунке 18.

Обеднённая гелием фракция направляется в реактор очистки от остатков метана и водорода. В реакторе на платиновом катализаторе происходит окисление CH_4 и H_2 до углекислого газа и воды, который в последствии удаляются из потока путем адсорбции. После газ проходит фильтр для очистки от пыли сорбента и идет в холодильник ожижения.

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

37

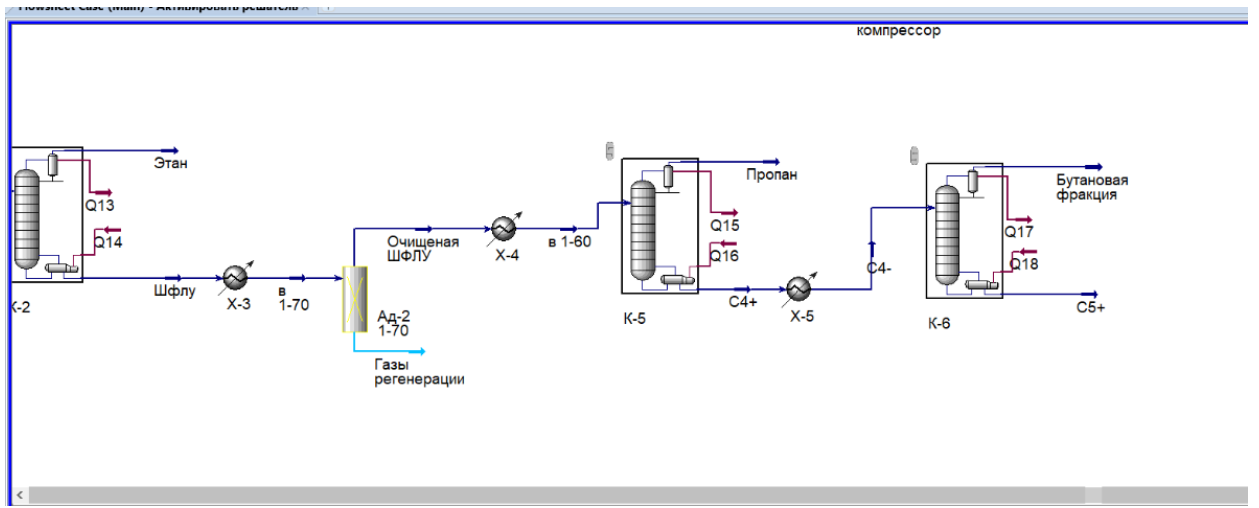


Рисунок 19 – Модель установки очистки и разделения ШФЛУ

Колонна: К-5 / COL5Пакет мод.:Basis-1 / Пенг-Робинсон

Проект	Параметры	Бок. операц.	Внутренние потоки	Номинал	Рабочий лист	Производительность	Блок-схем
Рабочий лист							
Условия							
Свойства							
Составы							
Характер. PF							
Имя				в 1-60 @COL5	Пропан @COL5	C4+ @COL5	
Пар				0,0000	1,0000	0,0000	
Температура [C]				50,00	47,25	112,0	
Давление [кПа]				1700	1620	1650	
Мольный расход [kgmole/h]				689,2	455,3	233,9	
Масс. расход [kg/h]				3,487e+004	2,007e+004	1,479e+004	
Станд. объем. расх. ид. жидк. [м3/h]				64,47	39,62	24,84	
Молярная энтальпия [kJ/kgmole]				-1,300e+005	-1,042e+005	-1,444e+005	
Молярная энтропия [kJ/kgmole-C]				100,4	140,0	116,3	
Тепловой поток [kJ/h]				-8,960e+007	-4,745e+007	-3,377e+007	

Колонна: К-5 / COL5Пакет мод.:Basis-1 / Пенг-Робинсон

Проект	Параметры	Бок. операц.	Внутренние потоки	Номинал	Рабочий лист	Производительность	Блок-схема	Реакции	Динамика
Рабочий лист									
Условия									
Свойства									
Составы									
Характер. PF									
					в 1-60	Пропан	C4+		
Methane				0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
Ethane				0,0005	0,0007	0,0000	0,0000		
Propane				0,6601	0,9992	0,0000	0,0000		
i-Butane				0,0846	0,0001	0,2492	0,0000		
n-Butane				0,1617	0,0000	0,4766	0,0000		
i-Pentane				0,0310	0,0000	0,0914	0,0000		
n-Pentane				0,0355	0,0000	0,1045	0,0000		
n-Hexane				0,0222	0,0000	0,0653	0,0000		
n-Heptane				0,0044	0,0000	0,0131	0,0000		
Helium				0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
Oxygen				0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
Hydrogen				0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
H2O				0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
Nitrogen				0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
Methanol				0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		

Рисунок 20 – Условия работы и состав потоков К-5

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

39

Продукт низа колонны депропанизатора К-5 направляется в колонну отделения бутановой фракции К-6. Где происходит финальное разделение смеси на бутан и остаток фракция C_{5+} . Пропан, бутан и газовый бензин направляются на хранение в товарный парк.

Параметры колонны К-6:

- число тарелок: 46
- давление верха 0,63 МПа
- температура верха колонны 60 °С
- давление куба 0,74 МПа
- температура куба не более 125 °С

2.4 Оптимизация установок

Программное обеспечение позволяет тонко настроить каждую установку несмотря на некоторые ограничения.

К примеру, уменьшение числа тарелок каждой колонной приводит к небольшим изменениям в составах выходящих фракция, но позволяет экономить материал на производство установки, а также в ее весе.

Рассмотрим на примере колонны К-6 (изображена на рисунке 21) дебутанизатора установки газофракционирования ШФЛУ. Изменение кпд тарелок с 0,75 до 0,87, представленное на рисунке 22, позволило сократить число тарелок с 46 шт. до 40 шт. без изменения состава бутановой фракции.

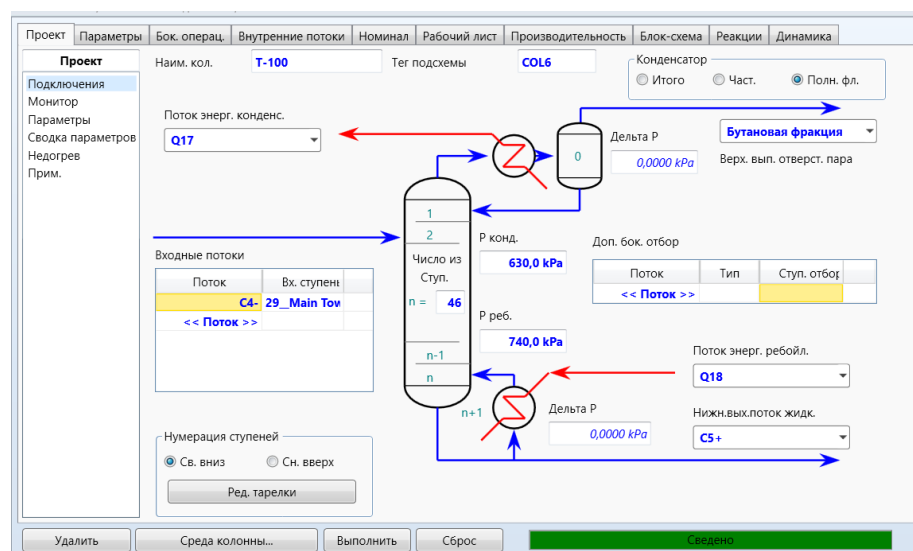


Рисунок 21 – Колонна дебутанизатор К-6

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

40

КПД ступеней

Тип КПД

Общий

Компонент

Значения КПД

Сгруппиров.

Задано польз.

Эфф.многопарам.

Задать ---->

КПД ступени	КПД ступени
Condenser	1,000
46_Main Tower	0,7500
45_Main Tower	0,7500
44_Main Tower	0,7500
43_Main Tower	0,7500
42_Main Tower	0,7500
41_Main Tower	0,7500
40_Main Tower	0,7500
39_Main Tower	0,7500
38_Main Tower	0,7500
37_Main Tower	0,7500
36_Main Tower	0,7500
35_Main Tower	0,7500
34_Main Tower	0,7500
33_Main Tower	0,7500
32_Main Tower	0,7500
31_Main Tower	0,7500
30_Main Tower	0,7500
29_Main Tower	0,7500
28_Main Tower	0,7500
27_Main Tower	0,7500

а)

КПД ступеней

Тип КПД

Общий

Компонент

Значения КПД

Сгруппиров.

Задано польз.

Эфф.многопарам.

Задать ---->

КПД ступени	КПД ступени
Condenser	1,000
40_Main Tower	0,8700
39_Main Tower	0,8700
38_Main Tower	0,8700
37_Main Tower	0,8700
36_Main Tower	0,8700
35_Main Tower	0,8700
34_Main Tower	0,8700
33_Main Tower	0,8700
32_Main Tower	0,8700
31_Main Tower	0,8700
30_Main Tower	0,8700
29_Main Tower	0,8700
28_Main Tower	0,8700
27_Main Tower	0,8700
26_Main Tower	0,8700
25_Main Tower	0,8700
24_Main Tower	0,8700
23_Main Tower	0,8700
22_Main Tower	0,8700
21_Main Tower	0,8700

б)

Рисунок 22 – Изменение в К-б: а) до изменения КПД б) после изменения КПД

Изменение перепадов давления после турбодетандеров позволяет точно регулировать и изменять температуру потоков, что обеспечивает гибкость по сырью.

Тепло от товарного газа после компримирования можно утилизировать на нагрев воды (представлено на рисунке 23) и далее использовать ее для подогрева сырья представлено, а также газа для газотурбинного двигателя компрессоров. Подогрева установок для защиты от обледенения.

Имя	3466	техническая вода	Товарный газ	Подогретая вода
Пар	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000
Температура [C]	131,2	20,00	30,00	107,5
Давление [kPa]	6810	2000	6800	1990
Мольный расход [kgmole/h]	2,606e+004	1,665e+004	2,606e+004	1,665e+004
Масс. расход [kg/h]	4,222e+005	3,000e+005	4,222e+005	3,000e+005
Станд. объем. расх. ид. жидк. [м3/h]	1390	300,6	1390	300,6
Молярная энтальпия [kJ/kgmole]	-7,058e+004	-2,866e+005	-7,496e+004	-2,797e+005
Молярная энтропия [kJ/kgmole-C]	158,9	52,36	146,5	72,79
Тепловой поток [kJ/h]	-1,840e+009	-4,772e+009	-1,954e+009	-4,658e+009

Рисунок 23 – Параметры потоков после ТО подогрева воды

Программное моделирование необходимый инструмент на стадии проектирования установок или целой линии производства. Позволяющий максимально снизить потери, повысить качество продукции, и разумно использовать энергию.

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

41

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

3.1 Воздействие на гидросферу химических соединений установки осушки углеводородных газов

Установка осушки природных газов является источником загрязняющих веществ. К ним относятся: тяжелые углеводороды, метанол, сероводород, меркаптаны и другие вещества. Если утилизация загрязняющих газов, находящихся в растворенном состоянии, невозможна, производится факельное сжигание или смешение с топливным газом, используемым для собственных нужд. Ущерб, наносимый токсичными выбросами, влияет на:

- ухудшение здоровья человека;
- жилищно-коммунальное хозяйство (разрушение зданий в связи с коррозией крыш и других металлических конструкций);
- уровень гибели растений (снижение урожайности сельского и лесного хозяйства).

Содержание в воде нефтепродуктов, солей, летучих органических соединений ограничено. Ведется строгий контроль за содержанием в воде вредных веществ. При несоблюдении норм предприятие получает предупреждение, или денежный штраф с запретом на ведение деятельности до исправления нарушений.

Отходами установки осушки природного газа на Амурском ГПЗ, загрязняющими гидросферу, являются: производственные сточные воды, в состав которых входят: конденсационная вода, образующаяся в результате осушки газа; паровой конденсат продувки турбокомпрессорных агрегатов из системы конденсации утечек пара, утечки охлаждающей воды оборотного водоснабжения, промывочные воды насосов и технологического оборудования, а также трубопроводов перед ревизией.

					ВКР.262835.180301.ПЗ			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб</i>	<i>Мельников А.Я.</i>				<i>Оптимизация технологических процессов переработки углеводородного сырья с помощью современных цифровых инструментов на примере Амурского ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>					<i>У</i>	<i>42</i>	<i>52</i>
<i>Н. Контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>					<i>АМГУ, ИФФ, гр.918-об</i>		
<i>Утв</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>							

3.2 Общая характеристика опасностей производства

Производство Амурского ГПЗ является взрывоопасным и пожароопасным производством.

Для того чтобы избежать возникновения ситуаций, которые могут повлечь причинение тяжкого вреда здоровью или летальный исход, при работе с установками необходимо руководствоваться правилами безопасности.

Углеводороды, входящие в состав поступающего на переработку природного газа и продуктов установок, образуют с воздухом взрывоопасные смеси.

Нижний предел взрываемости данных компонентов является основной характеристикой производства по взрывоопасности. Газообразные углеводороды могут попадать в атмосферу через неплотность в аппаратуре и трубопроводах.

Углеводородные газы токсичны и могут влиять на организм человека, могут действовать наркотически, вызывая недомогание, головокружение, после чего наступает опьянение и возможность потери сознания. Вызывают раздражение кожи, воспаления слизистых, вызывают рвоту, нарушают работу метаболизма.

С целью снижения опасности и вредности работы, на производстве организуют следующие мероприятия:

- технологическое оборудование максимально располагается на открытой площадке;
- снабжение всего оборудования предохранительными клапанами;
- электрооборудование выполняется с изоляцией, в соответствии с категорией производства, с защитой оборудования и трубопроводов от разряда молнии и статического напряжения;
- контроль и регулирование всех параметров технологического процесса производится оператором дистанционно из отдельного помещения с помощью автоматики;
- все оборудование снабжается площадками и лестницами для свободного доступа обслуживающего персонала при осмотрах и ремонтах установки.

Сжиженные газы, из-за своей высокой плотности скапливаются в различных низинах и углублениях в оборудовании и земле, что может привести к возгоранию и дыму

При превышении предельно-допустимых концентраций (ПДК) сжиженные газы в воздухе рабочей зоны оказывают на организм человека отравляющее воздействие.

Основную опасность установок АмГПЗ представляют поражающие факторы, такие, как взрыв, пожар, токсическое поражение или их сочетание.

Установки АмГПЗ относятся по пожарной опасности к категории «А», по санитарной характеристике относятся к группе ШБ [20].

На показатели риска установки АмГПЗ в большей степени играют роль следующие факторы:

- высокие взрыво- и пожароопасные свойства углеводородного газа;
- наличие коррозионно-агрессивных примесей в поступающем на установку природном газе;
- высокие давления в большей части технологических аппаратов;
- близкие к нормативному сроку службы технологические аппараты.

Наиболее опасными составляющими установок АмГПЗ являются:

- аппараты и трубопроводы, в которых обращаются опасные вещества (сырой углеводородный газ, сухой углеводородный газ, сжиженный газ, стабильный газовый бензин);
- сосуды, работающие под давлением выше 0,07 МПа (сепараторы, теплообменники, колонны, ёмкости, трубопроводы).

Меры, направленные на уменьшение риска аварий:

- проведение постоянного осмотра сосудов, работающих под давлением, согласно плану графика технического освидетельствования сосудов, работающих под давлением;
- проведение планово-предупредительных ремонтов оборудования, согласно годовому графику плановых ремонтных работ;

– удаление источника шума на расстояние, на котором уровень звукового давления не превышает допустимых значений;

– изолирование источников шума;

– использование глушителей и диффузоров; – применением СИЗ органов слуха.

Уровень вибрации оборудования на установках Ам ГПЗ, при условии соблюдения норм технологического режима, не превышает допустимых норм.

Предусмотрено два вида освещения – рабочее и аварийное.

Устранение физических перегрузок, рабочего персонала, обеспечивается за счет максимально возможной автоматизации всех производственных процессов.

Для защиты рабочих от производственных опасностей используют следующие методы:

– дистанционное управление производственным процессом;

– применение средств коллективной защиты, обеспечивающих защиту всех работников на установке

– применение СИЗ, обеспечивающих защиту человека

На предприятии применяются следующие средства:

– дыхательные аппараты, автономные (SCBA) и неавтономные

– датчики обнаружения пожара и газа (стационарные и переносные);

– пожарные гидранты и лафетные стволы; – системы водяного орошения,

– пожаротушение с помощью систем, использующих углекислый газ;

– огнезащитные спасательные скафандры;

– пожарные рукава,

– аварийные души и станции для промывания глаз.

– переносные огнетушители, они должны быть расположены на территории площадки в зависимости от типов пожара;

Средства индивидуальной и коллективной защиты работников на предприятии должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.011-89 «Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация» [21].

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ВКР.262835.180301.ПЗ

Лист

46

По всему Амурскому газоперерабатывающему заводу установлены датчики контроля загазованности для своевременного обнаружения предаварийных ситуаций, связанных с наличием неорганизованных утечек технологических сред из оборудования. Также все установки АмГПЗ оснащены передовой системой пажаротушения. В случае пожара все установки погружаются в мелкодисперсный водный туман, создаваемый форсунками по всему периметру аппарата.

					<i>ВКР.262835.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе разработки дипломного проекта был произведен подбор и анализ научно-технической документации для рассмотрения основных способов разделения углеводородных газов на единичные компоненты или их группы. Смоделирован процесс разделения природного газа.

Изучены макетные схемы установок АмГПЗ природного газа включая технологические параметры и особенности ведения процесса, позволяющие спроектировать технологическую схему рассчитываемых установок, а также исследованы аппараты и оборудование.

Проведён технологический расчет установок АмГПЗ, основного и вспомогательного оборудования с применением специализированного пакета программного обеспечения. Моделирование производства позволило сократить число тарелок в колонне дебутанизаторе до 40 шт. благодаря увеличению КПД тарельчатых устройств до 0,86. Также получить воду с температурой 110 °С для нужд завода, при охлаждении компримированного товарного газа.

Охарактеризованы основные риски производства и методы их профилактики, опираясь на принятые в промышленной сфере требования к безопасной организации труда и организации рабочего места, санитарные нормы и порядки.

					<i>ВКР.262835.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб</i>		<i>Мельников А.Я.</i>			<i>Оптимизация технологических процессов переработки углеводородного сырья с помощью современных цифровых инструментов на примере Амурского ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>У</i>	<i>48</i>	<i>52</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИФФ, гр.918-об</i>		
<i>Утв</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Ланг, М., Шмид, Ф., Баур, Х. Техническая концепция и практическая реализация проекта Амурского газоперерабатывающего завода // Газовая промышленность. – 2019. – № 3. – С. 66-72.

2 Амурский газохимический комплекс [Электронный ресурс] : «АГХК». – Режим доступа: <https://amur-gss.ru/> . – 12.05.2023

3 Амурский газоперерабатывающий завод [Электронный ресурс] : «АмГПЗ». – Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/projects/amur-gpp//> – 15.05.2023

4 Бекиров, Т. М. Промысловая и заводская обработка природных и нефтяных газов / Т. М. Бекиров – М. : Недра, 1980. – 596 с.

5 Технология переработки природного газа и конденсата : справочник / А. И. Афанасьев [и др.] – М. : Недра, 2002 – 356 с.

6 Савченков, А. Л. Первичная переработка нефти и газа / А. Л. Савченков. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2014 – 128 с.

7 Дытнерский, Ю. И. Мембранное разделение газов / Ю. И. Дытнерский, В. П. Брыков, Г. Г. Каграманов. – М. : Химия, 1991. – 344 с.

8 Лapidус, А. Л. Газохимия : учебник /А. Л. Лapidус, И. А. Голубева, Ф. Г. Жагфаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Гуюкина, 2013. – 405 с.

9 Балыбердина, И. Т. Физические методы переработки и использование газа: учебник для вузов / И.Т. Балыбердина – М. : Недра, 1988. – 248 с.

10 Молоканов, Ю. К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки. / Ю. К. Молоканов. – 3-е изд. – М. : Химия, 2004. – 254 с.

11 Потехин, В. М. Химия и технология углеводородных газов и газового конденсата / В. М. Потехин. – Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2016. – 560 с.

					ВКР.262835.180301.ПЗ			
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата				
Разраб	Мельников А.Я.				<i>Оптимизация технологических процессов переработки углеводородного сырья с помощью современных цифровых инструментов на примере Амурского ГПЗ</i>	Лит.	Лист	Листов
Пров	Гужель Ю.А.					У	49	52
Н. Контр.	Родина Т.А.					АмГУ, ИФФ, гр.918-од		
Утв	Гужель Ю.А.							

12 Катаев, К. А. Гидратообразование в трубопроводах природного газа / К. А. Катаев // Всероссийский журнал научных публикаций. – 2011. – № 1. – С. 22-23.

13 Тараканов, Г. В. Основы технологии переработки природного газа и конденсата: учеб. пособие / Г. В. Тараканов, А. К. Мановян. – 2-е изд., перераб. и доп. – Астрахань : Изд-во АГТУ, 2010. – 192 с.

14 Жданова, Н. В. Осушка углеводородных газов / Н. В. Жданова, А. В. Халиф. – 2-е изд. – М. : Химия, 1984. – 192 с.

15 Шевкунов, С. Н. Адсорбционная осушка и низкотемпературная ректификация в процессах промысловой подготовки природного газа / С. Н. Шевкунов // Экспозиция Нефть Газ, 2016. – 4 с.

16 Мишин, В. М. Переработка природного газа: учебник для системы непрерывного профессионального обучения рабочих ОАО «Газпром» / В.М. Мишин. – М.: Издательский центр «Академия», 1999. – 448 с.

17 ГОСТ 5542-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – Взамен ГОСТ 5542-78 ; введ. 01-01-1998. – М. : Министерство газовой промышленности СССР, 1988. – 2 с.

18 ТУ 0272-022-00151638-99. Фракция этановая. Технические условия. – Взамен ТУ 38.101489-94; введ. 2000-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов; М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1999. – 13 с.

19 ТУ 38.101524-93. Фракция широкая легких углеводородов. Технические условия. – введ. 2016-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов; М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1999. – 15 с.

20 СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. ; введ. 2009-05-01. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 31 с.

21 ГОСТ12.4.01189. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования классификация. – ВзаменГОСТ12.4.011-87 ; введ. 01-07-1990. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 6 с.

- 22 Ефимова, Г. А. Основы экологии / Г. А. Ефимова, Н. С. Яманина, С. З. Калаева, Н. Л. Гурылёва. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2013. – 155 с.
- 23 Носкова, Ю. А. Адсорбционный метод извлечения углеводородов из природных и попутных нефтяных газов / Ю. А Носкова, В. А. Казаков, М. А. Передерий // Химия твердого топлива, 2008. – 6 с.
- 24 Бекиров, Т. М. Первичная переработка природных газов / Т. М. Бекиров. – М. : Химия, 1987. – 256 с.
- 25 Соколов, В. А. Молекулярные сита и их применение / В. А. Соколов, Н. С. Торочешников, Н. В. Кельцев. – М. : Химия, 1964. – 156 с.
- 26 Мурин, В. И. Технология переработки природного газа и конденсата / В. И. Мурин, Н. Н. Кисленко, Ю. В. Сурков. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 517 с.
- 27 Гудков, С. Ф. Переработка углеводородов природных и попутных газов / С. Ф. Гудков – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 174 с.
- 28 Гриценко, А. И. Физические методы переработки и использования газа / А. И. Гриценко, И. А. Алексантров, И. А. Галанин. – М. : Недра, 1981. – 224 с.
- 29 Капкин, В. Д. Технология органического синтеза: учебник для техникумов / В. Д. Капкин, Г. А. Савинецкая, В. И. Чапурин – М. : Химия, 1987. – 400 с.
- 30 Дронин, А. П. Технология разделения углеводородных газов / А. П. Дронин, И. А. Пугач. – М. : Химия, 1975. – 176 с.
- 31 ИТС 50-2017. Переработка природного и попутного газа. – М. : Бюро НДТ, 2017. – 222 с.
- 32 Смидович, Е. В. Технология переработки нефти и газа. Часть первая / Е. В. Смидович. – М. : Химия, 1980. – 328 с.
- 33 Эрих, В. Н. Химия и технология нефти и газа / В. Н. Эрих, М. Г. Расина, М. Г. Рудин. – М. : Химия, 1977. – 408 с.
- 34 Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка рекомендаций по повышению технического уровня проектирования и эксплуатации объектов добычи газа и конденсата». ВНИИгаз, 1990 – 47 с.

					<i>ВКР.262835.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

35 Чукарев, А. М. Газоперерабатывающие заводы: технологические процессы и установки / А. М. Чукарев. – М.: Химия, 1971. – 240 с.

36 Берлин, М. А. Переработка нефтяных и природных газов / М. А. Берлин, В. Г. Горсченков, Н. П. Волков. – М. : Химия, 1981. – 472 с.

37 Лебедев, Н. Н. Химия и технология основного органического синтеза/ Н. Н. Лебедев. – М.: Химия, 1988. – 582 с.

38 Юкельсон, И. И. Технология основного органического синтеза. М.: «Химия», 2008, – 846 с.

39 Бесков, В. С. Общая химическая технология: учебник / В. С. Бесков.-М.: Академкнига, 2005. – 452 с.

40 Краткий справочник физико-химических величин. Издание девятое / Под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой. – СПб.: Специальная Литература, 1998. – 232 с.

					<i>ВКР.262835.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52