

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 техно-
логия природных энергоносителей и углеродных материалов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ Ю.А. Гужель

« ____ » _____ 20__ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной
очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на
Амурском ГПЗ

Исполнитель

студент группы 818-об

(подпись, дата)

Д.М. Дмитриук

Руководитель

доцент, канд. техн. наук

(подпись, дата)

Ю.А. Гужель

Консультант:

по безопасности жиз-
недеятельности

доцент, канд. техн. наук

(подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль

проф., док. хим. наук

(подпись, дата)

Т.А. Родина

Благовещенск 2022

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
«25» 05 2022 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Дмитрюка Дениса Михайловича

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ» утверждена Приказом от 04.04.2022 г № 115-ОД
2. Срок сдачи студентом законченной работы 23.06.2022 г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Производительность установки по сырью – 750 тыс. тонн/год. Давление сырьевой широкой фракции легких углеводородов – 1,7-1,9 МПа, температура – 40 °С. Литературные данные. Технологическая документация, нормативная и иная документация
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по процессам подготовки разделения широкой фракции легких углеводородов. Характеристика сырья и готовой продукции установки. Описание технологической схемы установки. Описание технологической модернизации. Материальный баланс. Технологический расчет оборудования. Безопасность и экологичность производства.
5. Перечень материалов графической части: Технологическая схема установки очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов.
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А. В., канд. техн. наук, доцент – раздел «Безопасность и экологичность производства»
7. Дата выдачи задания 25.05.2022 г.

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

Задание принял к исполнению 25.05.2022 г.



РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 76 с., 8 рисунков, 12 таблиц, 20 формул, 40 литературных источников

ШИРОКАЯ ФРАКЦИЯ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ, АДСОРБЦИЯ, УСТАНОВКА ОЧИСТКИ, РЕКТИФИКАЦИЯ, ГАЗОФРАКЦИОНИРУЮЩАЯ УСТАНОВКА, ОПЕРАЦИОННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, ЧАСТОТНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ, ГАЗОСЕПАРАТОР

В работе выполнен подбор и анализ литературы для рассмотрения процессов очистки и разделения природного газа на индивидуальные компоненты. Изучен процесс адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов методом ректификации. Рассмотрено понятие операционной эффективности предприятия, основные причины снижения эффективности и методы ее повышения.

В технологической части приведены методы модернизации и повышения операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ. Выполнен технологический расчет сетчатого газосепаратора, подбор оборудования, оптимальных условий работы и механический расчет аппарата.

Охарактеризованы основные опасности производства и меры безопасности при ведении технологического процесса, токсичные и пожароопасные свойства рабочих сред, сырья, готовой продукции и правила обращения с ними.

В графической части работы выполнен чертеж технологической схемы установки.

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Дмитрюк Д.М.</i>				<i>у</i>	<i>3</i>	<i>76</i>
<i>Провер.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>АмГУ 818-об гр.</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Литературный обзор	7
1.1 Широкая фракция легких углеводородов	7
1.2 Подготовка и очистка ШФЛУ	9
1.2.1 Адсорбционная очистка	10
1.2.2 Аппаратурное оформление процесса адсорбционной очистки	15
1.3 Газофракционирование ШФЛУ	22
1.3.1 Классификация технологических схем газофракционирующих установок	25
1.3.2 Влияние технологических параметров на процесс ректификации	27
1.4 Операционная эффективность	31
1.4.1 Причины снижения эффективности	31
1.4.2 Методы повышения операционной эффективности	32
2 Технологическая часть	36
2.1 Характеристика сырья и готовой продукции	36
2.2 Описание технологической схемы установки	38
2.3 Описание технологической модернизации	43
2.3.1 Использование частотных преобразователей	43
2.3.2 Замена контактных устройств колонного оборудования	46
2.3.3 Цифровизация рабочего процесса	47
2.3.4 Сепарация обратного газа регенерации	48

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Дмитрюк Д.М.</i>				у	4	76
<i>Провер.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>АмГУ 818-об гр.</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

2.4 Материальный баланс блока сепарации	50
2.5 Технологический расчет сепаратора	56
3 Механическая часть	58
3.1 Исходные данные	58
3.2 Выбор материала	58
3.3 Допускаемое напряжение	59
3.4 Расчет толщины стенки цилиндрической части аппарата	59
3.5 Расчет толщины стенки днищ аппарата	61
3.6 Проверка напряжений в нижней части стенки аппарата и в нижнем днище при проведении гидравлических испытаний.	62
4 Безопасность и экологичность производства	63
4.1 Характеристика пожароопасных и токсичных свойств сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства	63
4.2 Основные опасности производства, обусловленные особенностями технологического процесса очистки и газофракционирования ШФЛУ	66
4.3 Меры безопасности при ведении технологического процесса, выполнении регламентных производственных операций	69
Заключение	72
Библиографический список	73

ВВЕДЕНИЕ

Целью бакалаврской работы является закрепление теоретических знаний, полученных во время аудиторных и практических занятий в период обучения, обзор наиболее применяемых методов очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов. Изучение процесса адсорбционной очистки и разделения природных газов методом ректификации для разработки методов повышения операционной эффективности.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Провести подбор и анализ научно-технической документации и литературы для рассмотрения процессов очистки и разделения природного газа на индивидуальные компоненты;
2. Изучить технологическую схему адсорбционной очистки и газофракционирования ШФЛУ, включая аппараты и оборудование, технологические параметры, особенности ведения процесса;
3. Проанализировать способы повышения операционной эффективности процесса. Выполнить основные технологические расчеты модернизации и определить параметры оптимальной организации процессов.
4. Выполнить механический расчет модернизируемых блоков установки очистки и газофракционирования;
5. Рассмотреть основные опасности производства и меры безопасности при ведении технологического процесса, токсичные и пожароопасные свойства рабочих сред, сырья, готовой продукции и правила обращения с ними;
6. Выполнить графическое изображение установки в виде чертежа технологической схемы.

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Дмитрюк Д.М.</i>				<i>у</i>	<i>6</i>	<i>76</i>
<i>Провер.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>АмГУ 818-об гр.</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Широкая фракция легких углеводородов

Широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ) – многокомпонентная смесь низших углеводородов $C_2 - C_5$ различного строения, извлекаемых из природного газа, попутного нефтяного газа и газового конденсата. ШФЛУ представляет собой бесцветную прозрачную жидкость, находящуюся под избыточным давлением.

ШФЛУ является основным источником сырья для большинства потребляемых газовых топлив (сжиженный газ и газовый бензин), а также продуктов дальнейшей переработки индивидуальных фракций углеводородов, к которым относятся этан, пропан, бутаны и пентаны. В зависимости от компонентного состава получаемый ШФЛУ на газоперерабатывающих заводах подразделяется на следующие марки (таблица 1.1) [1]:

Таблица 1.1 – Технические требования к ШФЛУ

Показатели	Марки		
	А	Б	В
Углеводородный состав, % мас.:			
$C_1 + C_2$, не более	3	5	–
C_3 , не менее	15	–	–
$C_4 + C_5$, не менее	45	40	35
$C_6 +$ высшие, не более	11	25	50
Содержание сероводорода, %, не более	0,003		
Содержание взвешенной воды	Отсутствие		
Содержание щелочи	Отсутствие		
Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость		

Получают ШФЛУ при отбензинивании природных и попутных нефтяных газов методами низкотемпературной конденсации (НТК), низкотемпературной сепарации (НТС) низкотемпературной ректификации (НТР), методами абсорбции и адсорбции, а также при стабилизации газовых конденсатов.

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Дмитрюк Д.М.</i>				<i>у</i>	7	76
<i>Провер.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>АмГУ 818-об гр.</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

Главным вопросом в ходе переработки и разделения широкой фракции легких углеводородов является стратегия компании в сфере получаемой продукции и ориентирование на сырьевой рынок регионов потребления. В связи с этим, выделяют несколько направлений переработки и производства конечных продуктов:

а) производство стабильного газового бензина (углеводороды C_5+) и топливного газа (углеводороды $C_2 - C_4$);

б) производство стабильного газового бензина (углеводороды C_5+), топливного газа (углеводороды $C_1 - C_2$) и сжиженной пропан-бутановой фракции (ПБФ);

в) производство стабильного газового бензина (углеводороды C_5+), топливного газа (метан с примесями этана) и индивидуальных углеводородов (этан, пропан, изобутан, нормальный бутан и др.);

г) производство индивидуальных углеводородов и их смесей (при переработке ШФЛУ, практически не содержащих C_5+) [2].

В нефтехимической промышленности на данный момент возрастает потребность в извлечении из ШФЛУ именно индивидуальных фракций углеводородов с целью получения сырья, имеющего большой спектр применения в производственных мощностях.

Так, например, этан (этановая фракция) применяется как сырье пиролиза, в качестве хладагента на установках НТК, сжижения газов, депарафинизации масел, выделения пара-ксилола и др.

Пропановая фракция (технический пропан) используется как сырье пиролиза, коммунально-бытовое и автомобильное топливо, хладагент для технологических установок переработки нефти и газа, компонент растворителя.

Изобутановая фракция является сырьем установок алкилирования и дегидрирования с получением изобутилена, который является в основном сырьем для производства высокооктановых добавок к моторным топливам.

Бутановая фракция используется для получения бутадиена-1,3, а также как коммунально-бытовое топливо, добавка к автомобильным бензинам для

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

повышения давления насыщенных паров.

Изопентановая фракция является компонентом высокооктановых бензиновых топлив.

Пентановая фракция служит сырьем для процессов изомеризации, пиролиза, получения амиловых спиртов.

При использовании этих фракций легких углеводородов, как сырья для нефтехимии, содержание основных компонентов в них должно быть не менее 96 % – 98 % [2].

1.2 Подготовка и очистка ШФЛУ

В состав ШФЛУ входят этан (2 % – 8 %), пропан (10 % – 15 %), изобутан (8 % – 18 %), нормальный бутан (20 % – 40 %) и углеводороды C₅₊ (11 % – 25 %), а также сернистые соединения, включая меркаптаны и сероводород. ШФЛУ подвергают переработке с разделением на более ценные узкие фракции и индивидуальные углеводороды на специальных газодифракционных установках (ГФУ), входящих в структуру газо- или нефтеперерабатывающих заводов [1].

Перед подачей ШФЛУ на установку сырье должно пройти этап подготовки для обеспечения регламентируемого проведения технологического процесса разделения.

Подготовка ШФЛУ заключается в удалении избыточной влаги и кислых примесей из сырьевого потока. Сернистые соединения, входящие в состав широкой фракции легких углеводородов извлекаются множеством методов, к которым относятся:

– Абсорбционные методы (хемосорбция, физическая и физико-химическая абсорбция), основанные на избирательном поглощении нежелательных компонентов жидким поглотителем из газовой фазы сырья;

– Адсорбционные методы (химическая и физическая адсорбция), в основе которых лежит использование твердых пористых поглотителей;

– Каталитические методы, использующие окислительные и восстановительные процессы, в ходе которых происходит образование нейтральных про-

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

дуктов, легко выводимых из сырьевого потока;

– Мембранные методы разделения с применением полунепроницаемых материалов с микропористой структурой – мембран, обладающих избирательной проницаемостью к компонентам газа и позволяющих извлекать сернистые соединения из очищаемого потока.

Извлечение сернистых соединений обуславливается необходимостью предотвращения образования коррозионной среды в ходе технологических процессов, вызывающую нарушение целостности оборудования (образование трещин, уменьшение толщины стенок корпуса аппаратов и трубопроводных систем), а также получение продуктов с примесями токсичных и ядовитых веществ не соответствующих требованиям техники безопасности и стандартам сертификации продукции.

1.2.1 Адсорбционная очистка

Основным и наиболее эффективным методом очистки жидких и газообразных углеводородов от сернистых соединений, включающих в себя сероводород, тиолы, диоксид углерода, сульфиды и дисульфиды, является адсорбция – процесс избирательного поглощения газов (паров) или жидкостей поверхностью твердых тел (адсорбентов) и возможность дальнейшего разделения смеси на составляющие компоненты [3]. Такое явление связано с наличием физических сил притяжения, или ван-дер-ваальсовых сил между молекулами адсорбента и поглощаемого вещества [4].

Помимо ван-дер-ваальсовых сил взаимодействия также существуют химические силы. В зависимости от взаимодействия молекул вещества с молекулами адсорбента, адсорбция основана либо на химическом связывании кислых газов и сернистых соединений с адсорбентами – хемосорбция, либо на поглощении компонентов пористой структурой – физическая адсорбция.

При физической адсорбции не наблюдается изменение электронной структуры атомов или молекул. Физическая адсорбция вызвана ван-дер-ваальсовыми силами взаимодействия между молекулами адсорбата и адсорбента. Эти силы невелики, и поэтому для физической адсорбции характерна обрати-

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

мость (регенерация адсорбента), а также многослойная адсорбция. Кроме того, процесс протекает только при сравнительно низких температурах [5].

В ходе химической адсорбции, или хемосорбции, образуются химические связи и поверхностные соединения в результате взаимодействия между адсорбатом и адсорбентом. Промышленное применение в таких процессах нашли окислы железа и цинка. Но данные методы получили меньшее распространение в связи с невысокой технологичностью, нерегенерируемостью и необходимостью утилизации отработанного сорбента [6].

Для разделения ШФЛУ, как и для большинства процессов, адсорбция применяется главным образом для тонкой очистки углеводородов от сернистых соединений и двуокси углерода [4].

К преимуществам адсорбционных методов очистки относится высокая поглотительная способность адсорбентов, особенно при низких парциальных давлениях извлекаемых компонентов, что позволяет обрабатывать малым количеством сорбента огромные объемы газов и достигать при этом высокой степени очистки. В случае применения твердого сорбента отпадает опасность загрязнения технологического газа примесями.

Недостатки адсорбционных методов, препятствующие их широкому внедрению в промышленность, заключаются в периодичности процесса очистки, высокой стоимости регенерации адсорбентов при сравнительно низкой эффективности аппаратуры. Организация непрерывных процессов (адсорбция в движущихся слоях) связана с конструктивными и техническими трудностями. Существенным недостатком пористых сорбентов является снижение их адсорбционной активности в процессе эксплуатации, особенно при очистке многокомпонентных смесей.

Для процесса адсорбционного разделения применяются твердые пористые материалы с сильно развитой поверхностью пор. Удельная поверхность пор может составлять от 200 до 1700 м²/г, а средний радиус пор от 2 до 100 Å. Адсорбенты изготавливаются в виде таблеток или шариков диаметром от 2 до 6 мм, а также порошков с размером частиц от 20 до 500 мкм.

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

ралы: содалит, шабазит, морденит, фожазит и др. [7].

Синтетические цеолиты имеют строение и геометрическую структуру, аналогичные природным цеолитам. Аналогами фожазита являются синтетические цеолиты типа X и Y.

Различают синтетические цеолиты типов A, X и Y.

Цеолиты типа A относятся к низкокремнистым формам: в них отношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ не превышает 2.

Цеолиты типа X имеют молярное отношение $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$, которое может изменяться от 2,2 до 3,3.

Цеолиты типа Y характеризуются вышеупомянутым соотношением в пределах от 3,1 до 6. При увеличении этого показателя повышается кислотостойкость цеолитов. Размеры входных окон, определяющих избирательность цеолитов, изменяются от 3 до 9 Å [3].

Важной характеристикой адсорбентов является их активность, или адсорбционная емкость, под которой понимают массу адсорбированного вещества, приходящуюся на единицу массы адсорбента в условиях равновесия.

При выборе типа адсорбента большое значение имеет также сохранение активности при многоцикловой работе. Особенно существенен этот вопрос при проведении процесса адсорбции на установках непрерывного действия с движущимся или псевдооживленным слоем адсорбента, для которых циклы адсорбция – десорбция чередуются со значительно большей частотой, чем на установках периодического действия.

В процессах непрерывной адсорбции необходимо учитывать также механическую прочность адсорбентов. Основной причиной разрушения гранул адсорбента является истирание, хотя необходимо учитывать возможность раздавливания и влияние условий десорбции на растрескивание гранул. На истираемость, помимо природы адсорбента, влияют форма гранул, условия их транспорта внутри аппаратов установки и между ними, а также конструкция элементов установки, контактирующих с адсорбентом.

В адсорберах периодического действия также имеет место износ адсор-

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

бента в результате давления вышележащего слоя адсорбента и условий десорбции. Из этих соображений высоту насыпного слоя в периодических адсорберах принимают обычно не более 3 м.

Для выделения поглощенных при адсорбции компонентов с целью направления их на дальнейшую переработку применяется процесс десорбции. В тех случаях, когда в газовом потоке или в растворе, проходящем через слой адсорбента, концентрации (парциальные давления) адсорбируемых компонентов ниже равновесных, данные компоненты будут покидать поверхность адсорбента и переходить в газовый (жидкостный) поток, т. е. десорбироваться. Это будет происходить до тех пор, пока не установится новое состояние равновесия.

На промышленных адсорбционных установках необходимо производить регенерацию адсорбента с целью восстановления его адсорбционной способности. Поэтому после окончания стадии адсорбции осуществляется стадия десорбции поглощенных компонентов из адсорбента [3].

Процесс регенерации сорбента может быть осуществлен вытеснением поглощенных компонентов с поверхности адсорбента веществом с более высокой или низкой адсорбируемостью, испарением адсорбированных компонентов при нагреве адсорбента или при понижении общего давления в системе. В тех случаях, когда удаление адсорбированных компонентов затруднено или невозможно, применяется окислительная регенерация, при которой адсорбированные компоненты удаляют из адсорбента путем их сжигания.

На производстве стадия десорбции обычно проводится нагреванием адсорбента, вакуумированием, продувкой инертным газом и требует значительных энергозатрат [8].

В результате десорбции адсорбционная способность адсорбента восстанавливается полностью или частично в зависимости от адсорбционной способности десорбируемых компонентов, метода десорбции и рабочих параметров процесса. В ряде случаев оправдано неполное восстановление активности адсорбента, так как при этом сокращаются эксплуатационные затраты [3].

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

1.2.2 Аппаратурное оформление процесса адсорбционной очистки

Аппараты, в которых осуществляют поглощение компонентов из газовой или жидкой фаз твердым телом, называются адсорберами.

В нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической промышленности применяются адсорберы следующих основных типов:

- 1) с неподвижным слоем адсорбента;
- 2) с движущимся слоем адсорбента;
- 3) с псевдооживленным слоем адсорбента.

Адсорберы с неподвижным слоем адсорбента представляют собой вертикальные аппараты, заполненные гранулированным адсорбентом. В промышленной практике общая высота слоя адсорбента предопределяется необходимым его объемом и величиной гидравлического сопротивления слоя адсорбента; обычно она составляет от 2 до 12 м.

На рисунке 1 представлен адсорбер, предназначенный для очистки природного газа от сероводорода и меркаптанов. В корпусе аппарата 1 диаметром 3,6 м расположены по высоте два слоя цеолита NaX высотой 3,6 м. Каждый слой цеолита 6 поддерживается опорной решеткой 2, на которой установлен перфорированный лист 3 и два слоя металлической сетки. Над верхним слоем цеолита размещен дополнительно слой алюмогеля 7 для осушки газа. Для уменьшения динамического воздействия потока газа и более равномерного его распределения над адсорбентом расположен слой фарфоровых шаров 4 высотой 300 – 600 мм. При загрузке адсорбента используют штуцер 10 и кран-укосину 9. Переток адсорбента из одной зоны в другую при его загрузке и выгрузке осуществляется по трубам 5. Выгрузку адсорбента из аппарата производят по трубопроводу 12.

Для уменьшения гидравлического сопротивления слоя адсорбента разработаны конструкции адсорберов с радиальным движением потока газа. На рисунке 2 показаны варианты адсорберов, предназначенных для очистки газовых выбросов от органических веществ, которые по условиям десорбции могут быть несекционированными (рисунок 2а) и секционированными (рисунок

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

2б). Адсорбер состоит из корпуса 2, в котором размещены кольцевые решетки 3, удерживающие слой адсорбента 4 толщиной 300 – 650 мм. Решетки образованы из двух слоев металлической сетки – каркасной 18 х 2,5 мм и фильтровальной 2 х 1 мм. Для удобства монтажа и демонтажа кольцевые решетки по высоте разделены на одинаковые участки, соединенные между собой с помощью безболтового самоуплотняющегося разъемного соединения. Загрузка адсорбента производится через верхний штуцер 5, оработанный адсорбент удаляется из слоя при подъеме затвора 8 разгрузочного устройства [9].

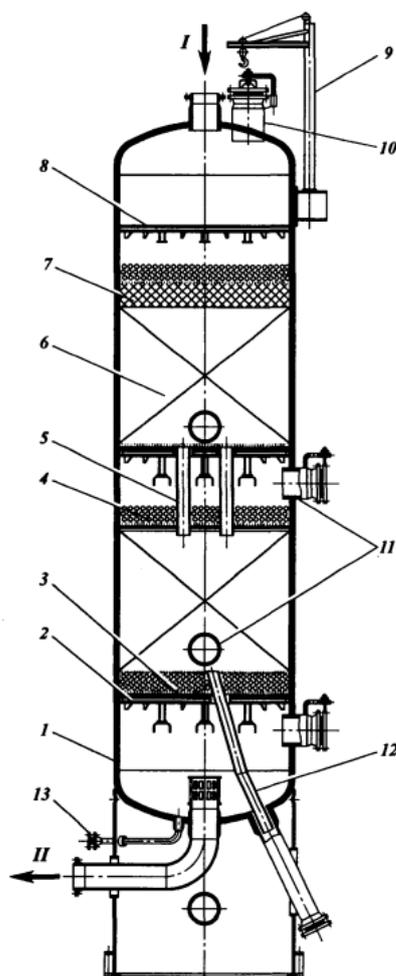


Рисунок 1 – Адсорбер аксиального типа с неподвижным слоем адсорбента:
 1 – корпус; 2 – опорная решетка; 3 – перфорированный лист и два слоя сетки;
 4 – фарфоровые шары; 5 – переточные трубы для загрузки (выгрузки) адсорбента; 6 – слой цеолита; 7 – слой алюмогеля; 8 – решетка, 9 – кран-укосина;
 10 – штуцер для загрузки адсорбента; 11 – люк-лаз; 12 – трубопровод для выгрузки адсорбента. Поток: I – исходный газ; II – отработанный газ

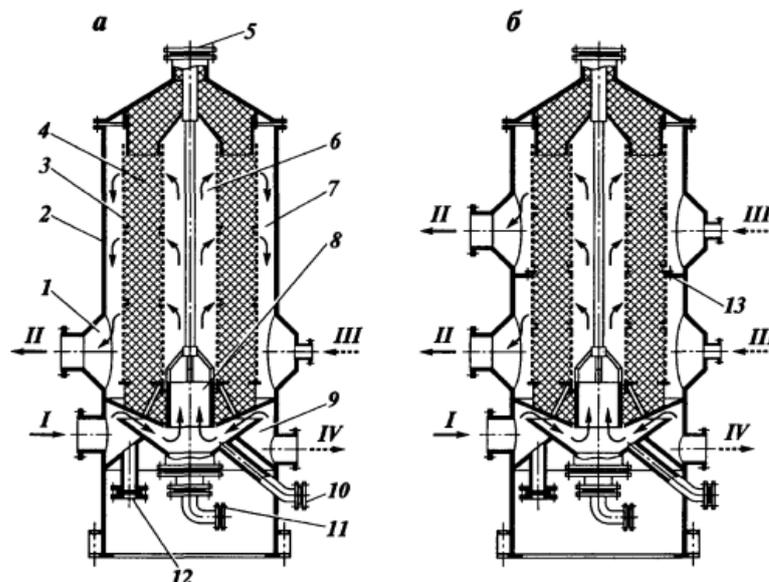


Рисунок 2 – Адсорбер радиального типа с неподвижным слоем адсорбента:
 а – несекционированный; б – секционированный; 1 – собирающий коллектор;
 2 – корпус; 3 – кольцевая решетка; 4 – слой адсорбента; 5 – штуцер для загрузки адсорбента; 6 – центральный раздающий канал; 7 – кольцевой собирающий канал; 8 – разгрузочное устройство; 9 – раздающий коллектор; 10 – штуцер для выгрузки адсорбента; 11 – штуцер для слива конденсата; 12 – предохранительная разрывная мембрана; 13 – секционирующая перегородка.
 Потоки: I – исходный газ; II – отработанный газ; III – водяной пар на десорбцию; IV – смесь паров воды и адсорбата

Пространство, ограниченное кольцевой решеткой меньшего диаметра, является центральным раздающим каналом 6. Пространство между стенкой корпуса и кольцевой решеткой большего диаметра является собирающим кольцевым каналом 7. Исходный газ через раздающий коллектор 9 поступает в центральный раздающий канал 6, проходит через слой адсорбента 4 и собирается в кольцевом канале 7, откуда через собирающий коллектор 1 выбрасывается в атмосферу.

Десорбция органических веществ из адсорбента осуществляется острым водяным паром при температуре 105 °С – 140 °С. Смесь десорбированных органических веществ и воды выводится из нижней части адсорбера через штуцер 10. После окончания стадии десорбции осуществляется сначала сушка ад-

сорбента подогретым атмосферным воздухом при температуре 60 °С – 100 °С и затем охлаждение атмосферным воздухом. По условиям технологии процесса очистки газов стадии сушки и охлаждения могут быть исключены.

С целью защиты от внезапного повышения давления при возможных загораниях или взрыве паровоздушной смеси адсорбер со стороны раздающего коллектора 9 снабжен предохранительной разрывной мембраной 12, срабатывающей при давлении свыше 0,075 МПа.

В целях сокращения пиковых нагрузок по пару при десорбции слой адсорбента в адсорбере может быть разделен по высоте на две части секционирующей перегородкой 13.

В адсорберах с неподвижным слоем адсорбента все стадии процесса протекают в определенной последовательности в одном аппарате и для непрерывной работы установки приходится иметь несколько аппаратов, работающих по определенному циклу. Непрерывность работы такой установки обеспечивается тем, что производительность стадии адсорбции точно соответствует суммарной продолжительности стадий десорбции, сушки и охлаждения. Если продолжительность стадий десорбции, сушки и охлаждения превышает продолжительность стадии адсорбции, то непрерывность работы установки достигается применением двух и большего числа адсорберов [3].

Адсорберы с движущимся слоем адсорбента применяются для извлечения этилена из его смеси с водородом и метаном, водорода из смеси газов и т.п. В этом случае процесс ведется непрерывно и каждая его стадия осуществляется в определенном аппарате или части аппарата, причем адсорбент последовательно перемещается между отдельными аппаратами по системе пневмотранспорта. В качестве адсорбента часто применяется гранулированный активированный уголь.

Схема адсорбера с движущимся сплошным слоем адсорбента для разделения смеси газов представлена на рисунке 3. Комбинированный аппарат состоит из отдельных зон, в которых осуществляются адсорбция, десорбция, нагрев и охлаждение адсорбента. Через аппарат непрерывно перемещается

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Исходный газ, подлежащий разделению, условно состоящий из смеси легкой и тяжелой фракций, направляется под распределительную тарелку, равномерно распределяется по всему сечению аппарата и вступает в контакт с движущимся слоем адсорбента. Через трубки распределительной тарелки газ поступает в верхнюю адсорбционную зону 5, где в противотоке с адсорбентом происходит адсорбция. Из верхней части этой зоны отводится легкая фракция. По мере перемещения газа вверх в адсорбционной зоне происходит массообмен, в результате которого подлежащие извлечению молекулы газа вытесняют с поверхности адсорбента менее активные молекулы легкой фракции, в конечном счете с верха этой зоны получают достаточно чистую легкую фракцию с высокой концентрацией в ней малоактивных компонентов исходной смеси.

Таким образом, газовая фаза, перемещаясь снизу-вверх, все более обогащается компонентами легкой фракции, тогда как адсорбат при перемещении адсорбента сверху вниз обогащается компонентами тяжелой фракции. С нижней распределительной тарелки адсорбент вместе с адсорбатом, состоящим в основном из компонентов тяжелой фракции, поступает в нагреватель 2, в котором адсорбент нагревается, и тяжелая фракция десорбируется.

Для облегчения десорбции в нижнюю часть аппарата подается водяной пар. Тепло для нагрева адсорбента и десорбции подводится греющим агентом, например, водяным паром, поступающим в межтрубное пространство нагревателя 2. Десорбированная тяжелая фракция частично отводится с нижней распределительной тарелки как целевой продукт, а частично в качестве внутреннего циркулирующего потока через трубки распределительной решетки направляется в зону ректификации 3 для контактирования с адсорбентом.

При наличии в исходном газе трудно десорбируемых компонентов, последние накапливаются в циркулирующем адсорбенте, что может привести к значительному снижению его активности. Для поддержания активности адсорбента на постоянном уровне в схему установки включается реактиватор 9, через который циркулирует часть адсорбента. В реактиваторе создаются более

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

жесткие условия десорбции (более высокая температура, повышенный расход водяного пара, окислительная регенерация и т.п.).

Использование отдельного аппарата (реактиватора), в котором поддерживаются более жесткие условия десорбции для части циркулирующего адсорбента, в ряде случаев экономически более выгодно, чем создание таких же условий в нагревателе для всего потока адсорбента. В этом случае необходимо значительно увеличить размеры нагревателя и расход греющего агента и водяного пара для десорбции.

Адсорберы с псевдооживленным слоем адсорбента позволяют также осуществлять непрерывный процесс адсорбции. В этом случае в качестве адсорбента используются мелкие гранулы (обычно не более 500 мкм). Конструктивно адсорбер может иметь один или несколько кипящих слоев (рисунок 4), обеспечивающих контакт фаз в противотоке (ступенчато-противоточный адсорбер).

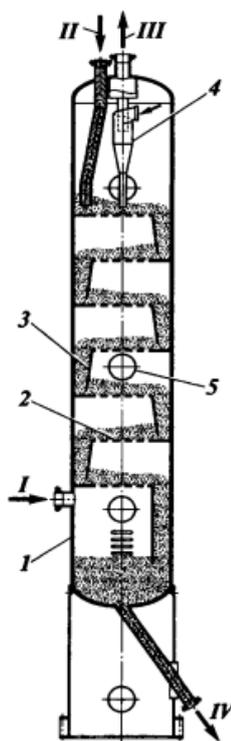


Рисунок 4 – Схема адсорбера с псевдооживленным слоем адсорбента:

1 – корпус; 2 – контактная тарелка; 3 – переточное устройство; 4 – циклон; 5 – люк-лаз. Поток: I – исходный газ; II – регенерированный адсорбент; III – отработанный газ; IV – отработанный адсорбент

В таком адсорбере на специальных контактных устройствах (тарелках) осуществляется взаимодействие между газом и порошкообразным адсорбентом, в результате чего адсорбент переводится в состояние псевдооживления. Адсорбент, двигаясь сверху вниз через переточные устройства, передается с одной контактной ступени на другую. Газ движется в аппарате противотоком снизу-вверх. Для отделения из газового потока частичек адсорбента перед выходом из адсорбера газ направляют в циклоны. В аппаратах с псевдооживленным (кипящим) слоем адсорбента можно интенсифицировать процесс массопередачи при адсорбции за счет уменьшения размера гранул и более интенсивного обновления их контактной поверхности [9].

1.3 Газофракционирование ШФЛУ

Одним из важнейших этапов на пути превращения углеводородного сырья в продукты нефтехимии является газофракционирование – разделение широкой фракции легких углеводородов или аналогичных смесей на составляющие компоненты – индивидуальные углеводороды [10].

Основное требование к качеству каждого выделенного углеводорода – это чистота, то есть высокая концентрация целевого компонента в получаемой фракции. Выделить совершенно чистые (не имеющие примесей) углеводороды в промышленных условиях практически невозможно. Вместе с целевым компонентом в продукте будут содержаться и другие углеводороды, имеющие близкие температуры кипения. Такая смесь носит название фракции того или иного компонента или группы компонентов, например, пропановая фракция, пропан-бутановая фракция, бутан-изобутановая фракция [11].

Для четкого разделение смесей жидких углеводородов на составляющие компоненты используют газофракционирующие установки (ГФУ), состоящие из комплекса ректификационных колонн, испарителей с паровым пространством, конденсаторов, рефлюксных емкостей, насосов и другого технологического оборудования. В зависимости от состава сырья и требований к верхнему и нижнему продуктам, каждая ректификационная колонна, оборудованная горизонтальными контактными тарелками разных типов, имеет соответствующую-

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

щий технологический режим работы (давление, температуру по высоте аппарата, количество верхнего жидкого и нижнего парового орошений) и разные конструктивные размеры (высота, диаметр) [12].

Основным процессом для разделения газовых смесей на индивидуальные компоненты или углеводородные фракции в таких установках является ректификация – диффузионный процесс разделения компонентов, различающихся по температурам кипения. Процесс осуществляется путем противоточного многоступенчатого или непрерывного контактирования паров жидкости. Необходимым условием процесса является присутствие жидкой фазы в системе, которое достигается конденсацией углеводородов в холодильных циклах и турбодетандерных агрегатах, что характеризует процесс, как низкотемпературный [13].

Под низкотемпературной ректификацией понимают разделение газовой смеси путем охлаждения ее до определенной температуры при постоянном давлении. В результате охлаждения конденсируется более тяжелая часть компонентов, а легкая часть, в силу своей низкой температуры кипения, выводится в газообразном виде [14].

Преимуществами низкотемпературной ректификации являются:

- гибкость по глубине извлечения выделяемых фракций;
- высокое извлечение легких углеводородов из жирных газов.

Отрицательным моментом являются большие энергозатраты для получения холода. Поэтому для их снижения конденсацию проводят по возможности при более высоких температурах и компенсируют это повышением давления. Однако достижение более высоких давлений связано с трудностями компримирования, так как при критических температурах для данного давления вещество не переходит из газообразного состояния в жидкое.

На рисунке 5 приведена технологическая схема газодиффузионной установки разделения ШФЛУ на индивидуальные фракции.

Сырье – нестабильный газовый бензин – поступает на фракционирование с установки отбензинивания газа, которая совместно с ГФУ составляет

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

единый технологический блок.

В пропановую колонну сырье поступает после предварительного нагрева в теплообменнике 16. В колонне сырье разделяется на товарный пропан и бутан-бензиновую смесь. Верхний продукт конденсируется полностью. Частично он подается на орошение в виде флегмы, а часть откачивается на склад готовой продукции. Бутан-бензиновая смесь с низа колонны через кипятильник 13 и теплообменники 16 и 17 подается в среднюю часть бутановой колонны. В этой колонне сырье разделяется на стабильный бензин (нижний продукт) и смесь изобутана и нормального бутана (верхний продукт). Стабильный бензин из кипятильника 14 через теплообменник 17 и холодильник 19 направляется в товарный парк. Верхний продукт бутановой колонны из емкости орошения 8 поступает в изобутановую колонну, где разделяется на изобутан и н-бутан. Каждая колонна установки орошается сконденсированным и охлажденным верхним продуктом. Теплоносителем в кипятильниках служит насыщенный водяной пар [11].

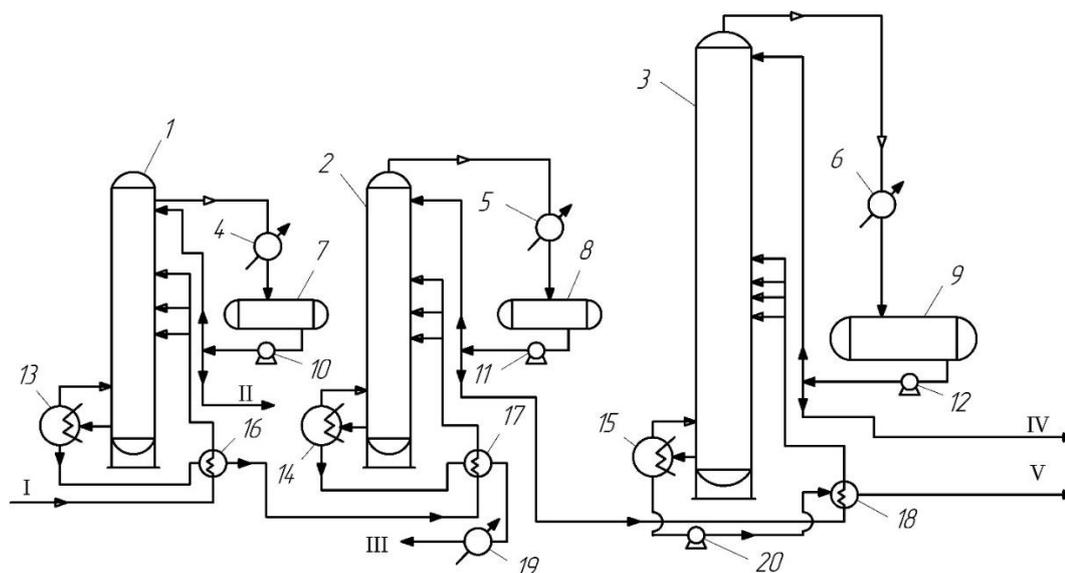


Рисунок 5 – Технологическая схема ГФУ:

1 – пропановая колонна; 2 – бутановая колонна; 3 – изобутановая колонна; 4, 5, 6 – конденсаторы-холодильники; 7, 8, 9 – емкости орошения; 10, 11, 12, 20 – насосы; 13, 14, 15 – кипятильники; 16, 17, 18 – теплообменники; 19 – холодильник бензина; I – нестабильный бензин; II – пропан; III – стабильный газовый бензин; IV – изобутан; V – н-бутан

1.3.1 Классификация технологических схем газодифракционирующих установок

Газодифракционирующие установки бывают двух типов: одноклонные и многоклонные [11].

С помощью одной ректификационной колонны можно получить продукт с низа колонны с регламентированным качеством. Все остальные компоненты в виде смеси отводятся с верха колонны. Такой процесс ректификации называется стабилизацией и применяется для получения газового бензина или стабильного углеводородного конденсата.

Схема ректификации, состоящая из двух колонн обычно применяется для получения сжиженных газов и газового бензина. В этой схеме первая колонна предназначена для удаления из сырья метана, этана и других примесей, содержание которых в потоках готовой продукции, отводимых с верха и низа стабилизатора, ограничено.

Трехклонная схема процесса ректификации обычно применяется для получения пропана, бутана и газового бензина. В этой схеме первая колонна предназначена для удаления из сырья тех примесей, которые нельзя реализовать ни с одним из трех видов получаемой готовой продукции. Последовательность может быть различной. Во второй колонне можно получить смесь компонентов сжиженного газа (вверх колонны) и газового бензина (низ колонны). В третьей колонне сжиженный газ можно разделить на фракции пропана и бутана [15].

На многоклонных газодифракционирующих установках из нестабильного бензина выделяют стабильный бензин (или гексановую фракцию) и фракции индивидуальных углеводородов (пропана, изобутана, н-бутана, изопентана и н-пентана), при этом количество ректификационных колонн на установке всегда должно быть на единицу меньше числа получаемых фракций [11].

Технологические схемы газодифракционирующих установок зависят от состава и давления сырья, расхода электроэнергии, габаритов оборудования, а также от качества и ассортимента получаемых продуктов. При выборе опти-

мальной схемы разделения сырья на ГФУ придерживаются следующих правил:

- исходное сырье делят на такие фракции, для ректификационного выделения которых при заданном хладагенте и исходных термодинамических параметрах состояния требуются минимальные затраты на сжатие этого сырья до давления конденсации ректификата;

- для высокой четкости разделения ректификата и остатка колонны предпочтительно, чтобы они были примерно равны по мольному расходу;

- близки кипящие компоненты при требуемой высокой чистоте получаемых продуктов в технологической схеме разделяют последними.

С учетом этих правил применяются следующие технологические схемы ГФУ (рисунок 6): с нисходящим (а), восходящим (б) и смешанным (в) давлением [1].

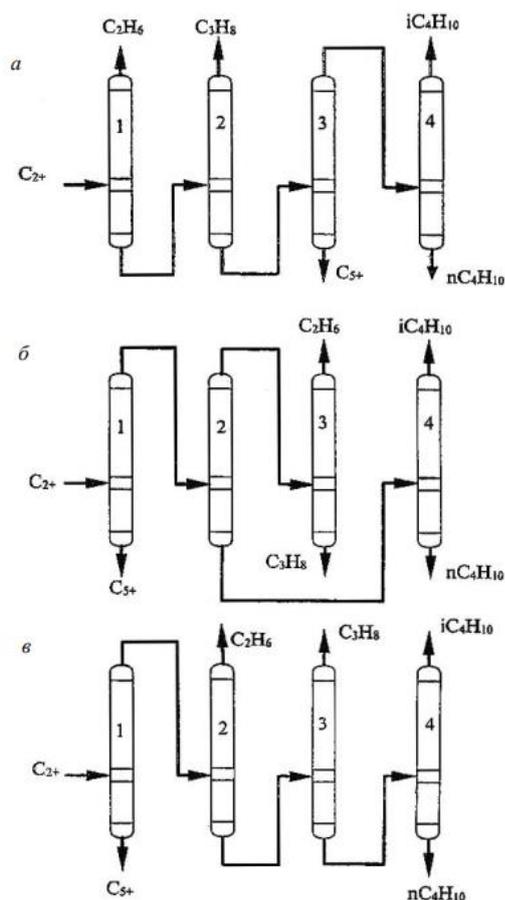


Рисунок 6 – Варианты технологических схем ГФУ:

а – с нисходящим давлением; б – с восходящим давлением; в – со смешанным давлением

Схема ба является технологической схемой ГФУ с нисходящим режимом давления. В ней давление предыдущей по ходу движения сырья колонны выше, чем в последующей. Поэтому разделяемое сырье из колонны в колонну перемещается самотеком, сокращая количество насосного оборудования для перекачки.

В схеме бб давление в предыдущих колоннах ниже, чем в последующих. Такие технологические схемы ГФУ называются схемами с восходящим режимом давления. Они наиболее экономичны, когда в нестабильном газовом бензине содержится незначительная массовая доля бутана, а еще меньше пропана. В этом случае основной получаемый продукт (стабильный бензин) отводится из первой колонны, а для остальных колонн остается небольшое количество сырья, вследствие чего их размеры, а также размеры вспомогательного оборудования резко уменьшаются и, таким образом, экономятся капитальные и эксплуатационные затраты [11].

На практике чаще встречаются схемы со смешанным режимом давления (бв). При таком разделении давление в колонне 2 выше, чем в колоннах 1 и 3.

В целом на установках газодифракционирования применяется от 3 до 10 ректификационных колонн, оптимальная схема расположения которых в каждом конкретном случае определяется составом исходного газа и минимальной себестоимостью готовой продукции [16].

1.3.2 Влияние технологических параметров на процесс ректификации

Основными показателями работы ГФУ являются четкость разделения сырья на составляющие компоненты и концентрации целевых компонентов во фракциях. Качество их должно удовлетворять требованиям технических условий и стандартов [15].

Исходя из утвержденного технологического регламента, для каждой установки разрабатывается оптимальный режим работы всего оборудования – пределы изменения основных параметров процесса – давление в колоннах и емкостях орошения, температура верха и низа колонн, расход сырья, расход

орошения, уровни в кипятильниках, рефлюксных емкостях и химический состав получаемых продуктов, от которых зависят конструкционные параметры ректификационных колонн.

Устойчивая работа ГФУ и высокая степень разделения возможна при обеспечении: равномерной подачи сырья на установку и на загрузку отдельных колонн; равномерной подачи орошения; постоянства состава сырья; надежного обеспечения установки теплоносителем и хладагентами.

При неравномерной подаче сырья контактирующие на тарелках пары и флегма не достигают состояния равновесия из-за того, что в одних случаях уровни в тарелках будут низкими, а в других – высокими, и поэтому возможен прорыв паров и, кроме того, скорость пара тоже будет разной. При предельных нагрузках по сырью возможен заброс флегмы с нижележащих тарелок на вышележащие и вынос вспененной жидкой фазы с верха колонны. В результате такой подачи сырья ректификация будет нечеткой и в верхнем продукте – дистилляте может содержаться не только близкие по температуре кипения компоненты, но и более высококипящие. В то же время в кубовом остатке останется неотпаренным некоторое количество низкокипящего компонента (НКК) [11].

Равномерность подачи сырья в колонны установок газодифракционирования зависит от устойчивой работы регуляторов уровня, нагнетающих и откачивающих насосов.

Постоянство состава сырья является важным параметром для непрерывного процесса разделения газов методом ректификации. Сырье, поступающее из различных источников, по содержанию углеводородов имеет широкий диапазон. Для переработки каждого вида сырья на установках должен быть разработан определенный, присущий только этому виду сырья, технологический режим.

Поступление сырья более утяжеленного состава при неизменных температурах низа и верха колонн и неизменном расходе орошения приводит к уменьшению потока паров, и в то же время к переполнению кубовой части

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

колонны, что вызывает уменьшение давления в системе. В результате в нижнем продукте колонны окажется неотпаренной часть низкокипящего компонента, а прекращение подачи орошения вызовет подъем на верх колонны паров высококипящих (ВКК) компонентов, то есть процесс ректификации значительно ухудшится. Чтобы не допустить ухудшения процесса ректификации, необходимо поднять температуру низа колонны, тем самым улучшить отпарку НКК из кубового остатка и обеспечить нормальный восходящий поток паров. Помимо этого, необходимо переключить подачу сырья на нижнюю тарелку питания и отрегулировать поддержание оптимального уровня жидкости в кубовой части.

При уменьшении ВКК в сырье таких колонн, как депропанализатор, дебутанизатор, депентанизатор, необходимо уменьшить температуру низа колонн, увеличить количество орошения и переключить подачу сырья на верхние тарелки, а при увеличении концентрации ВКК в сырье изобутановой или изопентановой колонн нужно соответственно повысить температуру низа колонны и переключить подачу сырья на нижние тарелки питания.

Если температура верха и низа колонны остается неизменной, то повышение давления при ректификации приводит к увеличению температур кипения и конденсации компонентов разделяемых смесей, возможности применения более дешевых хладагентов в конденсаторах-холодильниках ректификата и уменьшению их теплопередающей поверхности, уменьшению необходимого диаметра колонны или росту ее производительности при одном и том же диаметре. Однако с повышением давления уменьшается коэффициент относительной летучести компонентов и ухудшается четкость ректификации, увеличиваются теплопередающая поверхность ребойлера и затраты на нагрев сырья и подвод тепла в колонну, а при термолабильности продуктов возможна их деструкция из-за повышения температур. Снижение давления приводит к ухудшению качества дистиллята вследствие повышения в нем концентрации ВКК, для минимизации которой используются более дорогие хладагенты и низкие температуры в конденсаторах-холодильниках [1].

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

Повышение давления в колонне может быть вызвано уменьшением количества охлаждающей воды, поступающей в конденсаторы, или образованием накипи и шлама в трубных пучках конденсаторов, особенно в летнее время, а повышение давления в деэтанализаторе, где хладагентом служит пропан или аммиак – уменьшением подачи этого хладагента.

Максимальное давление не должно приближаться к критическому для разделяемой смеси во всех сечениях колонны. Обычно в колоннах для разделения газовых смесей давление составляет: для этановой колонны – 3,5 – 4,0 МПа; для пропановой – 0,8 – 2,0 МПа; для бутановой – 0,3 – 1,6 МПа; для изобутановой – 0,8 – 2,0 МПа.

От температурного режима колонны, который определяется давлением, зависит фазовое состояние сырья на входе в колонну, а также ректификата, остатка и продуктов в других сечениях колонны. Температурный режим тем выше, чем выше давление в колонне.

С увеличением числа теоретических тарелок и орошения в колонне четкость ректификации газовых смесей возрастает, при этом для минимизации эксплуатационных затрат для получения одной и той же четкости ректификации целесообразно увеличивать число тарелок, уменьшая флегмовое число – отношение количества жидкого орошения, подаваемого на верхнюю тарелку ректификационной колонны, к количеству получаемого верхнего продукта этой колонны [17]. Флегмовые числа в колоннах для разделения газовых смесей колеблются от 0,5 до 25, а число реальных тарелок (КПД от 0,50 до 0,85) – от 60 до 180 штук. Такое большое количество тарелок объясняется близкими температурами кипения компонентов разделяемой смеси [1].

Поддержание устойчивой и непрерывной работы ГФУ зависит от множества факторов, при этом регулирование работы ректификационных колонн затруднительно из-за их большой инерционности. Следует иметь в виду, что при регулировании процесса ректификации изменение режима очень медленно распространяется от тарелки к тарелке. Так, возмущение при изменении

подачи сырья или орошения доходит до кубовой части колонны через значительный промежуток времени. Такое запаздывание зависит не только от количества тарелок, но и от величины вместимости куба колонны вместе с рибойлером [11].

1.4 Операционная эффективность

Под операционной эффективностью подразумевается степень приспособленности предприятий к рациональному и эффективному использованию ресурсов, а также к выполнению задач по повышению качества продукции или услуг при одновременном снижении затрат на производство [18].

Для оценки эффективности производственной деятельности промышленного предприятия используют критерии эффективности операционной деятельности, основными из которых являются:

– экономичность, которая определяет насколько хорошо имеющиеся ресурсы расходуются для производства реально необходимой продукции и указывает на использование имеющихся мощностей;

– результативность, которая используется для сравнения изменения производительности, относительно исходной, при более эффективном использовании ресурсов.

Комбинация высокой результативности и лучшего использования имеющихся ресурсов ведет к росту эффективности, которая определяется с помощью сравнения текущих результатов деятельности с изначальными [19].

1.4.1 Причины снижения эффективности

На уровень эффективности производства оказывает влияние множество факторов. К их числу можно отнести изменения в техническом уровне производства и качестве рабочей силы, повышение уровня автоматизации производственных процессов, оснащенность сотрудников средствами труда, применение информационных технологий в сфере производства и управления. Однако эти изменения создают лишь предпосылки для повышения эффективности. Реальный рост обеспечивается реализацией возможностей организации и управления производством [20].

Поэтому внедрение в производство самых совершенных средств автоматизации и передовых производственных технологий может не только не привести к росту эффективности, но и обернуться убытками, если организация и управление производством не обеспечат проектную загрузку мощностей, четкое планирование и снабжение рабочих мест всеми необходимыми ресурсами. Следовательно, источником низкой эффективности является наличие потерь и нерационального производства, к которым относятся:

- потери рабочего времени из-за недостатков в производственном планировании, перерывов в ходе операций и низкой трудовой дисциплины;
- потери, обусловленные неполным использованием производственных мощностей, выражающихся в снижении объемов выпуска продукции;
- повышенное относительно нормативных величин количество сырья, материалов и готовой продукции, что ведет к излишним затратам на хранение, увеличению времени производства, замораживанию оборотных средств;
- перепроизводство, обусловленное изготовлением продукции в больших количествах, чем требуется потребителю, или выпуском продуктов до предусмотренного заказчиком срока.

Вследствие данных причин наблюдается постепенное превышение издержек, а также снижение эффективности производства в случаях стабильной работы или при понижении производственных мощностей [21].

1.4.2 Методы повышения операционной эффективности

Целью создания эффективной организации производства является развитие производственных систем и формирование методов организационной деятельности, обеспечивающих достижение наивысшей эффективности организации промышленного производства.

При этом эффективная организация не должна ориентироваться лишь на снижение производственных затрат, а призвана наряду с ресурсосбережением обеспечить достижение предприятием устойчивой производственной деятельности, выпуска продукции высокого качества, упрощения процессов и управ-

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

ленческих процедур, сокращения длительности производственного цикла и ускорения выпуска продукции.

Основными направлениями реализации поставленных целей являются три «фактора роста»:

- 1) применение современных технологий;
- 2) организационные изменения;
- 3) человеческий капитал.

Для каждого фактора существуют свои конкретные подходы и методы повышения эффективности, однако внедрение их по отдельности дает лишь локальные результаты и имеет слабое влияние на изменение ситуации в целом. Поэтому необходимо разрабатывать единую интегрированную систему повышения эффективности операций для каждой функциональной службы. Таким образом, можно говорить о применении системного подхода, благодаря которому будет возможность объединения усилий по повышению эффективности операций [22].

С точки зрения первого фактора – применение современных технологий – компания должна заниматься постоянным внедрением новых видов оборудования, модернизацией устаревшего комплекса аппаратуры, а также использованием и усовершенствованием информационных систем предприятия.

На нефтегазовых предприятиях в связи со сложностями замены большей части габаритного оборудования, эффективна техническая модернизация отдельных узлов и аппаратов. Как правило, происходит замена контактных устройств в колоннах, изменяются способы подвода-отвода тепла, замена фильтров, использование новых сорбентов, а также выбор оптимальных технологических параметров производства.

С точки зрения второго фактора, реализацией задачи повышения операционной эффективности становится сокращение длительности производственного цикла. Факторами, обеспечивающими решение этой задачи, является не только снижение трудоемкости процессов на основе автоматизации, но и использование организационных методов и средств: сокращение времени

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		33

простая оборудования, оптимизация маршрутов движения сырьевых потоков, снижение материальных и энергетических затрат, внедрение прогрессивных систем эксплуатации оборудования, а также уменьшение времени ремонта оборудования и подготовительных операций. Не меньшее значение имеют и процессы освоения производства новых видов продукции.

Решение проблемы повышения эффективности на предприятиях предполагает развитие систем организации и управления производством. Одним из перспективных направлений является применение программно-целевых методов управления с внедрением технологий индустрии 4.0 и цифровизации производства.

Информационные технологии индустрии 4.0 в рамках отдельных организаций позволяют проводить цифровую трансформацию с внедрением digital-решений в управленческие и производственные бизнес-процессы для качественного изменения деятельности на производственных предприятиях различной направленности.

В рамках реализации информационных технологий организуется цифровое пространство и создаются серверы баз данных по сбору и систематизированию информации о работе предприятия. Операторские центры управления производства оснащаются передовым цифровым оборудованием, позволяющим автоматизировать контроль за параметрами работы основных технологических установок предприятия. Смежные технологические установки объединяются в комплексы с единым центром управления, что позволяет принимать оперативные решения, учитывая технические параметры процессов и экономические показатели производства. Персонал обеспечивается устройствами личного мониторинга и отслеживания процессов, происходящих на производстве для повышения безопасности и более быстрого принятия решений на объектах.

Внедрение индустрии 4.0 и развитие информационных технологий с глубокой проработкой цифровой базы повышают операционную эффективность производства, позволяя проводить интеграцию вертикальных и горизонталь-

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

ных цепочек от разработки продукта до логистики и сервиса, масштабную цифровизацию продукции и расширение производственных продуктов, а также способствует созданию цифровых сетей и экосистем на производстве.

Однако, по мере возрастания технологической сложности производства, внедрения наукоемких технологий, широкого применения средств автоматизации и роботизации усложняются процессы подготовки производства, производственного планирования, координации деятельности всех участников производственного процесса, организации труда и мотивации работников. При этом следует учитывать, что в условиях высокоавтоматизированного производства эффективность работы предприятия все больше зависит от технико-экономических характеристик оборудования, условий его эксплуатации и использования. В связи с этим возрастает роль человеческого фактора, определяются задачи разработки и реализации групповых форм организации и мотивации труда, повышения степени самостоятельности и ответственности работников [21].

Для реализации задач по повышению операционной эффективности согласно третьему фактору, необходимо проводить оптимальную кадровую политику компании, основываясь на следующих принципах:

- 1) применение системы наставничества для новых сотрудников с целью обучения выполнению производственных задач и последующей оценки эффективности работы персонала;
- 2) разработка системы мотивации для всех сотрудников компании;
- 3) систематическое повышение навыков и знаний персонала посредством специальных обучающих программ и тренингов.

Таким образом, системный подход к повышению операционной эффективности является одним из необходимых инструментов в современном производстве. Данный подход позволит достигать целевых экономических показателей в контексте привлечения минимального количества ресурсов организации и получения от них максимальной отдачи [22].

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Характеристика сырья и готовой продукции

Целью переработки природного газа является очистка газа и получение индивидуальных углеводородов и их смесей, а также сопутствующих продуктов (серы, гелия) и газомоторных топлив.

Сырьем для переработки на установке очистки и газофракционирования является ШФЛУ (фракция C_{3+}) поступающая с установки выделения этана и широкой фракции легких углеводородов, удаления азота и получения азотно-гелиевой смеси.

Главным назначением установки адсорбционной очистки ШФЛУ является извлечение меркаптанов и метанола из потока ШФЛУ до его направления на установку газофракционирования.

В результате очистки ШФЛУ от сераорганических соединений содержание сероводорода в ШФЛУ не превышает 0,025 % масс., а содержание сероводорода в меркаптановой сере – 0,003 % масс.

Продукцией установки очистки ШФЛУ является очищенная широкая фракция легких углеводородов, представляющая собой смесь газообразных (при атмосферном давлении) и легкокипящих жидкостей, являющаяся сырьем для установки газофракционирования.

Качество очищенной фракции ШФЛУ должно соответствовать требованиям технических условий и отраслевых стандартов (таблица 2.1) [23].

Таблица 2.1 – Показатели качества очищенной ШФЛУ

Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу
Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , макс.	615

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Дмитрюк Д.М.</i>				<i>у</i>	36	76
<i>Провер.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>АмГУ 818-об гр.</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу
Компоненты, % масс	
Пропан, мин.	10
Пропан, макс	–
Бутан и пентан, мин	30
Гексан+, макс	60
Сероводородная и меркаптановая сера, макс.	0,025
Сероводород, макс.	0,003
Свободная вода и щёлочь	отсутствует
Общая сера, ppm моль	5
H ₂ S, ppm моль	0,1
Метанол, ppm моль	5
Твёрдые частицы	отсутствует
Температура воспламенения (по пропану), °С	504 – 588
Температура самовоспламенения, °С	287
Температура вспышки (по пропану), °С	минус 96
Нижний концентрационные предел распространения пламени, об. %	1,8
Верхний концентрационные предел распространения пламени, об. %	9,1

Очищенная ШФЛУ направляется на газофракционирующую установку (ГФУ) для разделения на индивидуальные углеводороды, либо на производство стабильного бензина.

Продуктами данной установки являются:

- Пропан технический;
- Бутан технический;
- Пентан-гексановая фракция.

Характеристика продукции согласно стандартам и техническим условиям [24-26] приведена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Показатели качества продуктов газофракционирования

Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу		
	Товарный пропан	Товарный бутан	Пентан-гексановая фракция
Содержание метана, % об.	не более 0,002	не более 0,0010	не более 2,0
Содержание этана, % об.	не более 2,0	не более 0,0010	
Содержание пропана, % об.	не менее 95	не более 0,2	

Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу		
	Товарный пропан	Товарный бутан	Пентан-гексановая фракция
Содержание бутана, % об.	не более 3,0	не менее 97,0	не более 2,0
Содержание C ₅₊ , % об.	не более 0,0015	не более 1,0	не менее 96,0
Содержание олефинов, % об.	не более 0,05	не более 0,1	–
Содержание серы общей, % об.	не более 0,0015	не более 0,0015	не более 0,02
Содержание сероводорода, % об.	отсутствие	отсутствие	отсутствие
Содержание воды, ppm	не более 10	не более 10	отсутствие
Содержание оксигенатов, ppm	не более 10	не более 10	–
Содержание метанола, ppm	–	не более 50	–
Физические свойства			
Агрегатное состояние при нормальных условиях	газ	газ	жидкость
Цвет	бесцветный	бесцветный	бесцветный
Запах	без запаха	без запаха	характерный запах
Растворимость в воде, мг на 100 мл	6,1	6,1	12
Плотность (при 27 °С), кг/м ³	1,820	2,703	0,700
Температура кипения, °С	минус 42,1	минус 0,5	36,7
Давление насыщенных паров, избыточное, МПа (при температуре 45 °С)	не более 1,6	не более 1,6	не более 1,3
Удельная теплота сгорания, МДж/м ³	45,5	128,5	348,6
Пожаро-взрывоопасные свойства			
Температура воспламенения, °С	504 – 588	430 – 569	–
Температура самовоспламенения, °С	470	405	более 450
Температура вспышки, °С	минус 96	минус 60	минус 58
Нижний концентрационные предел распространения пламени, об. %	2,1	1,8	1,4
Верхний концентрационные предел распространения пламени, об. %	9,5	9,1	7,8

2.2 Описание технологической схемы установки

Принципиальная технологическая схема установки очистки и газофракционирования ШФЛУ изображена на рисунке 7.

Сырьевая ШФЛУ (фракция C₃₊) с давлением 1,7 – 1,9 МПа и температурой не менее 35 °С поступает на установку очистки с установки выделения

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

этана и широкой фракции легких углеводородов, удаления азота и получения азотно-гелиевой смеси по межцеховым коммуникациям.

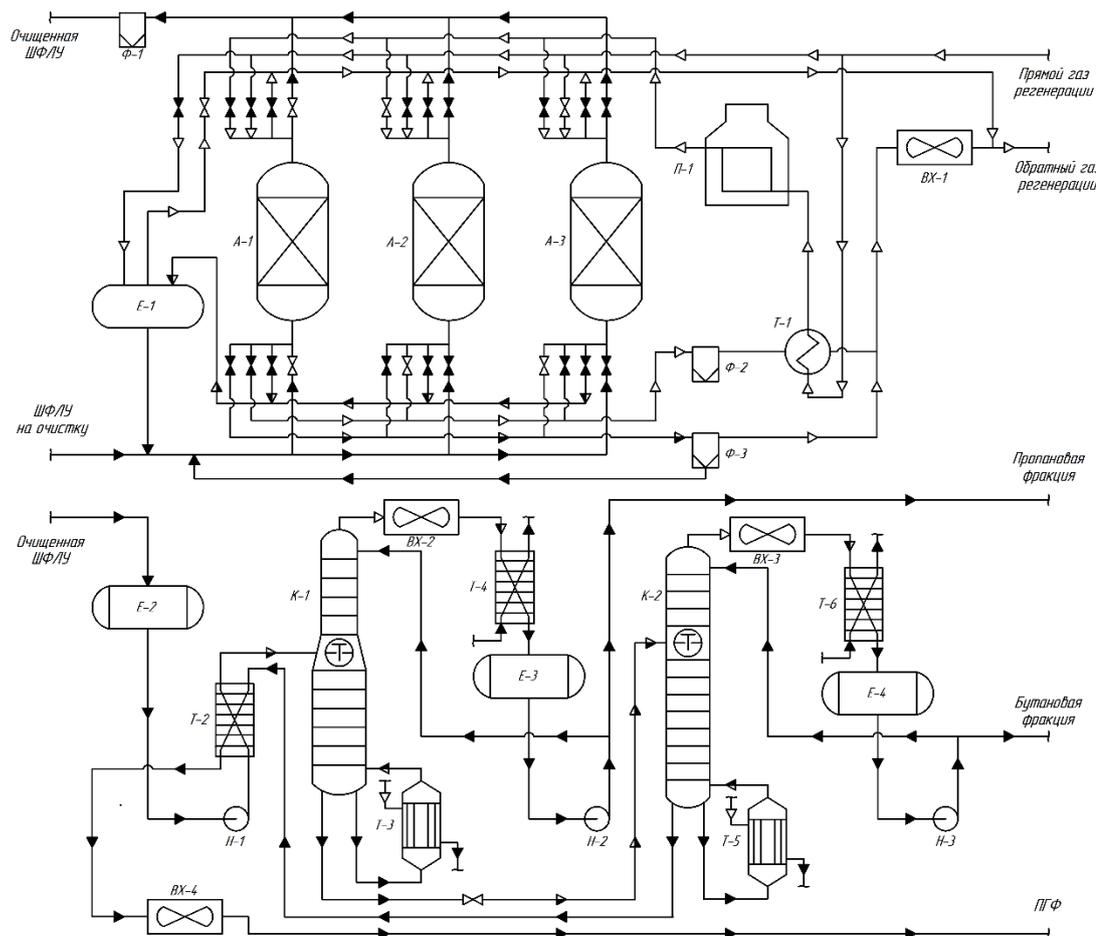


Рисунок 7 – Технологическая схема установки:

А-1, А-2, А-3 – адсорберы; Ф-1 – фильтр очищенной ШФЛУ; Ф-2 – фильтр газа регенерации; Ф-3 – фильтр газа охлаждения; П-1 – печь нагрева газа регенерации; ВХ-1, ВХ-2, ВХ-3, ВХ-4 – воздушные холодильники; Е-1 – загрузочно-разгрузочная емкость; Е-2 – сырьевая емкость ШФЛУ; Е-3, Е-4 – рефлюксные емкости; К-1 – депропанизатор; К-2 – дебутанизатор; Н-1, Н-2, Н-3 – насосы; Т-1 – рекуперативный теплообменник; Т-2 – подогреватель сырья; Т-3, Т-5 – ребойлеры; Т-4, Т-6 – доохладители паров дистиллята

Сырьевая ШФЛУ направляется в адсорберы А-1, А-2, А-3, в которых осуществляется удаление соединений серы и метанола из потока ШФЛУ, проходящей через слой адсорбента. При нормальном режиме эксплуатации один из адсорберов работает в режиме адсорбции, второй – в режиме регенерации, третий – в режиме охлаждения.

Сырьевая ШФЛУ подается в нижнюю секцию адсорбера, работающего в режиме адсорбции и, перемещаясь по восходящей, проходит через слой адсорбирующего катализатора, где из нее извлекаются серные соединения (большой частью меркаптаны) и метанол.

Очищенная ШФЛУ из верхней части адсорбера очистки, работающего в режиме адсорбции, поступает на фильтры очищенной ШФЛУ Ф-1 для удаления частиц катализатора, унесенных из адсорбционного слоя, и далее по межцеховому коллектору, под давлением 1,55 МПа, с температурой 35 °С поступает на установку газофракционирования.

После перенасыщения адсорбента меркаптанами и метанолом, адсорбер отсекается и переключается на режим регенерации с последующей стадией охлаждения адсорбента. Остатки неочищенной ШФЛУ из емкости аппарата выдавливаются метановой фракцией от дожимной компрессорной станции в загрузочно-разгрузочную емкость Е-1.

Процесс регенерации и охлаждения цеолита осуществляется метановой фракцией при давлении около 4,2 – 4,3 МПа, которая подогревается в печи П-1 до температуры 300 °С и проходит через адсорбер сверху-вниз, подогревая адсорбент до температуры 150 °С и удаляя сернистые соединения и метанол.

На выходе из адсорбера обратный газ регенерации, содержащий меркаптаны и метанол, через фильтр газа регенерации Ф-2 направляется в рекуперативный теплообменник Т-1, где отдает свое тепло встречному потоку прямого газа регенерации. Затем охлажденный обратный газ регенерации смешивается в коллекторе с потоком газа охлаждения и подается в воздушный холодильник ВХ-1, где охлаждается до 45 °С.

Далее газ регенерации цеолита, содержащий меркаптаны и метанол, направляется на прием ДКС, где смешивается с товарным газом без снижения его качества.

По завершению стадии регенерации адсорбента адсорбер очистки должен быть охлажден до температуры, приемлемой для приема ШФЛУ. Прямой газ регенерации (газ охлаждения), имеющий температуру слоя 28 °С, вводится

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

в адсорбер сверху. В течение стадии охлаждения температура слоя катализатора снижается со 150 °С до 35 °С.

Газ регенерации выходит из нижней секции адсорбера и поступает в фильтр газа охлаждения Ф-3 для удаления захваченных в адсорбере механических примесей.

После фильтра газ охлаждения смешивается в коллекторе с обратным газом регенерации, поступающим от рекуперативного теплообменника обратного газа регенерации и подается в воздушный охладитель газов.

По завершению стадии охлаждения адсорбера происходит его заполнение ШФЛУ из загрузочно-разгрузочной емкости и дальнейшая очистка сырья.

Установка газодифракционирования предназначена для разделения ШФЛУ, поступающей с установки очистки ШФЛУ, на пропановую фракцию (C₃), бутановую фракцию (C₄) и пентан-гексановую фракцию (C₅₊).

Очищенная ШФЛУ с установки очистки, поступает на установку газодифракционирования под давлением 1,55 МПа и температурой 35 °С, проходит через узел учета и поступает в сырьевую емкость Е-2, которая используется в качестве буферной, для обеспечения стабильной подачи сырья в колонну-депропанатор.

ШФЛУ из сырьевой емкости подается насосом Н-1 в подогреватель сырья Т-2 и далее в колонну депропанатор К-1. В подогревателе сырья очищенная ШФЛУ подогревается до температуры 46 °С горячей фракцией C₅₊, поступающей из куба колонны-дебутанизатора К-2.

После подогревателя сырья, подогретая до 46 °С ШФЛУ поступает в эвапорационную зону (на 30 тарелку) колонны-депропанатора.

Колонна-депропанатор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, состоящий из цилиндра, головки, рабочего сопла, тарелок, юбки, проушины, смотрового люка и других частей.

Сверху колонны пропановый дистиллят последовательно проходит аппарат воздушного охлаждения ВХ-2, доохладитель паров Т-4, где охлаждается оборотной водой до 35 °С, и направляется в рефлюксную емкость Е-3, откуда

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

насосом Н-2 часть фракции подается в колонну-депропанализатор на орошение в виде флегмы, а вторая часть – в товарно-сырьевой парк для хранения пропана.

Кубовый продукт снизу колонны-депропанализатора нагревается в вертикальном термосифонном подогревателе куба Т-3 паром низкого давления, после чего часть кубового продукта (фракция C_{4+}) под давлением 1,83 МПа и с температурой 120 °С направляется в эвапорационную зону (на 28 тарелку) колонны-дебутанизатора К-2 на разделение.

Колонна-дебутанизатор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, состоящий из цилиндра, головки, рабочего сопла, тарелок, юбки, проушины, смотрового люка и других частей.

Пары, насыщенные бутаном, выходят через верхнюю часть колонны-дебутанизатора под давлением 0,63 – 0,9 МПа, с температурой 65 °С. Затем конденсируются в воздушном холодильнике ВХ-3 и охлаждаются в доохладителе паров Т-6 до 35 °С оборотной водой, циркулирующей через доохладитель.

После доохладителя паров сконденсировавшаяся бутановая фракция поступает в рефлюксную емкость Е-4, откуда насосом Н-3 часть сжиженной бутановой фракции подается в колонну-дебутанизатор на орошение в виде флегмы, а вторая часть – в товарно-сырьевой парк для хранения бутана.

Товарный продукт из кубовой части колонны-дебутанизатора (пентан-гексановая фракция C_{5+}) нагревается в вертикальном термосифонном подогревателе Т-5 паром низкого давления до температуры 125 °С, после чего направляется в подогреватель сырья, в котором охлаждается до 52 °С потоком очищенной ШФЛУ, поступающей в колонну-депропанализатор в качестве сырья.

Товарная фракция C_{5+} после подогревателя сырья поступает в воздушный холодильник пентан-гексановой фракции ВХ-4, в котором охлаждается до температуры 42 °С, после чего направляется в товарно-сырьевой парк под давлением 0,13 – 0,67 МПа с температурой до 42 °С.

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

2.3 Описание технологической модернизации

2.3.1 Использование частотных преобразователей

Охлаждение газа является неотъемлемой частью технологического процесса очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов. В первом случае для подачи охлажденного газа регенерации в коллектор товарного газа, во втором – для поддержания определенной температуры возвращаемого орошения в качестве флегмы и соблюдения условий процесса ректификации. Для эффективного охлаждения газовых потоков используются аппараты воздушного охлаждения с применением одного из самых дешевых хладагентов – воздуха [27].

Аппарат воздушного охлаждения стандартной конструкции состоит из одной или нескольких теплообменных секций, установленных на металлоконструкции, вентиляторов, которые прокачивают потоки воздуха через теплообменник и приводов вентиляторов (электродвигателей). Вентиляторы устанавливаются в специальных диффузорах, которые предназначены для повышения эффективности и направления воздушного потока. Диффузор вентилятора представляет собой обечайку цилиндрической формы, внутри которой размещен сам вентилятор. Теплообменная секция состоит из оребренных трубок, через которые протекает охлаждаемая среда, и коллекторов, к которым подключаются подающий и отводящий трубопроводы и которые распределяют охлаждаемую среду равномерно по трубкам теплообменника. Технологическая среда, которую требуется охладить, поступает в трубки теплообменника, где тепло передается от жидкости к трубкам, а от трубок к ребрам и далее к воздуху, который отводит тепло от теплообменника в окружающую среду сверху теплообменных секций.

В связи с переменной нагрузкой аппарата, зависящей от технологического режима, температуры и влажности воздуха, вентиляторы должны иметь возможность регулирования расхода воздуха в широком диапазоне.

Система регулирования должна обеспечивать требования технологии независимо от изменения режима работы вентилятора.

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Регулирование расхода воздуха производится несколькими способами:

- 1) изменением расхода охлаждающего воздуха, подаваемого в теплообменные секции;
- 2) подогревом воздуха (в зимний период) на входе в АВО;
- 3) перепуском части технологического потока по байпасным линиям через регулирующие клапаны;
- 4) увлажнением охлаждающего воздуха и поверхности теплообмена, позволяющим снизить температуру охлаждающего воздуха при высокой его температуре в летний период.

В целях повышения операционной эффективности процесса охлаждения, его интенсификации и увеличения коэффициента полезного действия проводят модернизацию теплообменного оборудования с внедрением системы регулирования расхода охлаждающего воздуха, которое осуществляется:

– путем использования двухскоростных электродвигателей, что позволяет иметь две локальные величины расхода воздуха и третью – минимальную величину при остановленном вентиляторе (в зимний период при низкой температуре окружающего воздуха аппарат может работать с отключенным вентилятором, при этом охлаждение продукта происходит за счет естественной конвекции);

– путем плавного регулирования скорости вращения вентилятора применением электродвигателя с переменным числом оборотов, гидропривода, гидромуфта, вариатора, коробки скоростей и т.д.;

– путем регулирования угла поворота лопасти вентилятора. Изменение угла производится вручную при остановленном вентиляторе переустановкой каждой лопасти отдельно или автоматически при использовании пневматического или электромеханического привода. Ступенчатое изменение угла поворота лопастей с остановкой вентилятора предусматривают для сезонного регулирования. Автоматическое регулирование позволяет поддерживать выходную температуру охлаждаемого продукта с точностью до 1 °С;

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

– установкой специальных жалюзийных устройств, располагаемых как до вентилятора, так и после теплообменных секций. Жалюзийные устройства могут снабжаться ручным или пневматическим приводом. При повороте жалюзийных элементов уменьшается расход воздуха и увеличивается диапазон рабочих режимов, но при этом такое регулирование сопровождается снижением КПД вентилятора [28].

На установке очистки и газофракционирования ШФЛУ применяются аппараты воздушного охлаждения, оснащенные двумя вентиляторами, работающими от электроприводов с автоматической системой частотных преобразователей для регулировки скорости вращения лопастей и расхода нагнетаемого воздуха в зависимости от показаний датчиков температуры газа на выходе из АВО. Основной проблемой является режим работы частотников – один из вентиляторов организован таким образом, что работа осуществляется в двух режимах: отключение, либо работа на полной мощности, что затрудняет регулировку охлаждения и плавной работы теплообменного оборудования.

В качестве модернизации аппаратов воздушного охлаждения предполагается установка двух регулируемых частотных преобразователей, увеличивающих возможность регулирования процесса охлаждения газовых потоков дистиллятных продуктов и газа регенерации в блоке адсорбционной очистки ШФЛУ [29].

Технический результат после внедрения автоматизированной системы частотного регулирования позволит достичь:

- плавной регулировки по температуре выходящего газа из аппарата охлаждения;
- снижения вероятности переохлаждения сырьевого потока, гидратообразования в полости труб теплообменной секции и следственно их забивки, снижающей КПД оборудования;
- сокращения энергозатрат на 30 % – 40 % при более эффективном использовании обоих вентиляторов, исключая слабо регулируемый двухскоростной режим работы одного из них.

2.3.2 Замена контактных устройств колонного оборудования

Основным процессом установки очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов является разделение ШФЛУ с получением товарных фракций пропана, бутана и пентан-гексановой фракции высокой чистоты.

Газофракционирование осуществляется в ректификационных колоннах, оборудованных контактными устройствами тарельчатого типа и переливными устройствами, поддерживающими постоянный уровень жидкости на поверхности тарелок, с целью повышения площади контакта проходящей паровой фазы с жидкостью и достижения эффективного массообмена разделяемых продуктов.

С целью модернизации процесса разделения углеводородов предлагается установка клапанных тарелок с двухпоточным распределением жидкой фазы. Для обеспечения работы такой колонны потребуются корректировка температурного режима и количество подаваемой флегмы в качестве орошения.

Технический результат за счет внедрения высокоэффективных клапанных двухпоточных тарелок в колоннах депропанации и дебутанизации позволяет достичь:

- высокой точности разделения продуктов верха и низа колонн с общим коэффициентом полезного действия контактных устройств до 95 %;
- отсутствия сквозного прохождения жидкой фазы через тарелки за счет особой конструкции клапана.
- возможности автономного регулирования величины зазора между клапаном и поверхностью тарелки в зависимости от парожидкостной нагрузки, что позволяет поддерживать скорость газа постоянной.

К недостаткам данной технологии относятся:

- повышенная стоимость изготовления клапанов;
- высокое гидравлическое сопротивление, обусловленное уровнем жидкости и весом клапана [30].

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

2.3.3 Цифровизация рабочего процесса

На Амурском газоперерабатывающем заводе используются современные системы автоматизации процессов с применением контрольно-измерительных приборов, автоматической запорно-регулирующей арматуры и системы предохранительных клапанов на случай нештатных ситуаций, обеспечивающих практически полную автономность технологических процессов.

На первых этапах рабочего процесса сложностью для сотрудников является усвоение большого количества информации и ориентирование в системе обвязки технологических установок, что в свою очередь снижает продуктивность и общую операционную эффективность обслуживания оборудования установки, находящейся на режиме.

С целью повышения эффективности и цифровизации процессов работы операторов предлагается введение специализированных устройств: планшетов, смартфонов и т.п., позволяющих проводить быстрый анализ необходимых данных установки, занесения показателей в отчетность и нормативные документации, доступ к программным обеспечениям, поддерживающим просмотр и работу с трехмерными моделями установок, а также облегченный поиск необходимых технологических узлов, измерительных приборов и регулирующей арматуры.

В результате внедрения данной технологии достигается:

- повышение операционной эффективности в организационном плане производства работ по обслуживанию и поддержанию технологических параметров установки.
- возможность непосредственного ведения отчетности на рабочем месте с копированием информации в общую систему базы данных, что позволяет отслеживать динамику параметров в реальном времени.

Но у данной технологий помимо положительных эффектов существуют и возможные существенные риски внедрения, к которым относятся:

- необходимость обучения персонала работе с программным обеспечением и освоение новых методов введения процессов;

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

– хрупкость персональных гаджетов и неправильное обращение в рабочем процессе, возможность падения уровня заряда на устройстве и отсутствием его дальнейшего функционирования;

– общее снижение компетентности работников, вследствие переложения личных обязанностей на работу вычислительной техники, плохой ориентации в схеме установки без применения программ визуализаций, что в свою очередь может привести к позднему реагированию во время аварийных ситуаций.

2.3.4 Сепарация обратного газа регенерации

Анализ работы и технологических параметров установки очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ позволяет сделать следующий вывод: основным недостатком процесса являются периодические неконтролируемые выбросы сырьевой ШФЛУ в коллектор обратного газа регенерации при переключении адсорберов между режимами.

Содержащаяся влага в газовом потоке охлаждается и конденсируется в конечном аппарате воздушного охлаждения, после чего беспрепятственно попадает в коллектор дожимной компрессорной станции, что грозит помпажированием и повреждением компрессорных агрегатов.

С целью повышения операционной эффективности процесса очистки и газофракционирования предлагается модернизация установки путем включения сетчатого сепаратора в блоке очистки после конечного аппарата воздушного охлаждения в направлении движения смешанного потока обратного газа регенерации и газа охлаждения (рисунок 8).

Сетчатый газосепаратор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат с отбойной сеткой жалюзийного типа, расположенной в верхней секции аппарата. Газосепараторы предназначены для тонкой очистки природного и попутного нефтяного газа от жидкости (конденсата, ингибитора гидрато-образования и воды) в промышленных установках подготовки газа к транспорту, подземных хранилищах, а также на газо- и нефтеперерабатывающих заводах.

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Газожидкостная смесь в сетчатом газосепараторе разделяется на газ и жидкость благодаря воздействию гравитационных и инерционных сил на капли жидкости. Основная масса жидкости сепарируется из газового потока в средней части корпуса и осаждается вниз в сборник жидкости. Окончательная очистка осуществляется за счет коагулирования тонкодисперсных капель в сетчатом каплеотбойнике, размещённом в верхней части корпуса, и стекания в пространство сборника жидкости внизу [31].

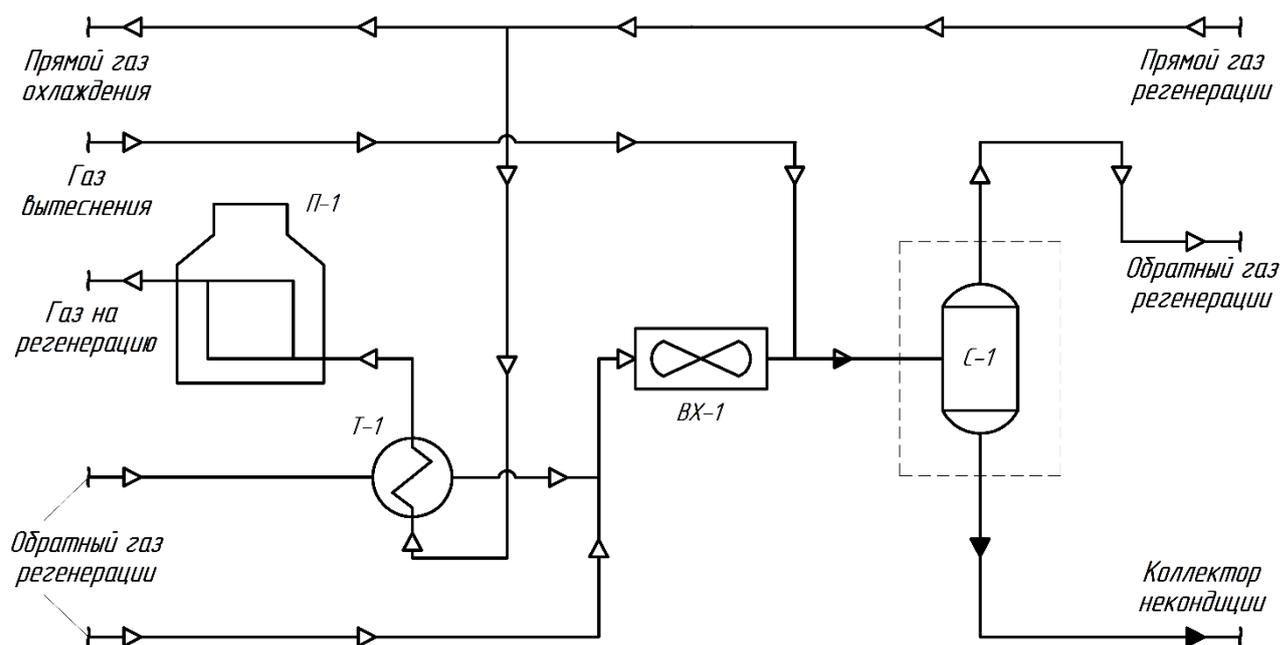


Рисунок 8 – Модернизация установки очистки и газодифракционирования ШФЛУ

П-1 – печь нагрева газа регенерации; ВХ-1 – концевой аппарат воздушного охлаждения; Т-1 – рекуперативный теплообменник; С-1 – сепаратор

Для обеспечения работы такого сепаратора требуется корректировка схемы установки с добавлением дренажных устройств с отсекающей арматурой для периодического слива отсепарированной ШФЛУ и метанольной воды из газового потока.

Технический результат за счет внедрения сетчатого сепаратора на выходе из концевой аппарата воздушного охлаждения позволяет достичь:

- устранения нежелательной влаги в газовом потоке перед подачей в сырьевые коллекторы, а вместе с этим минимизации возникновения помпажиро-

вания компрессорного оборудования, что позволит уменьшить количество аварийных ситуаций и сохранить целостность оборудования при стандартной производительности установки;

- накопления меркаптанов и сернистых соединений, повышая точку росы на выходе отработанного газа, и отведения нежелательных компонентов в коллектор некондиции, снижая при этом коррозионную активность сырьевых потоков;

- снижения нагрузки и расхода топливного газа на компрессорном оборудовании в процессе компримирования газа вследствие извлечения нежелательной влаги и облегчения сырья.

2.4 Материальный баланс блока сепарации

Примем следующие условные обозначения:

z'_i – мольная доля компонента в смеси;

y'_i – мольная доля компонента в газовой фазе;

x'_i – мольная доля компонента в жидкой фазе;

y_i – массовая доля компонента в газовой фазе;

x_i – массовая доля компонента в жидкой фазе.

В таблице 2.3 представлен исходный состав газа.

Таблица 2.3 – Исходный состав обратного газа регенерации

Компонент	CO ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	∑C ₅₊
Мол. доли	0,005	0,03	0,80	0,03	0,02	0,02	0,095

Согласно [32], для составления материального баланса процесса сепарации необходимо определить:

- долю образовавшейся газовой фазы при заданных условиях сепарации (доля отгона);

- состав газовой фазы;

- состав жидкой фазы.

Для определения покомпонентного состава образовавшейся газовой фазы в результате сепарации используется уравнение:

$$y'_i = \frac{z'_i \cdot K_i}{1 + e'(K_i - 1)}, \quad (1)$$

где e' – мольная доля отгона – отношение количества молей газовой фазы в сепараторе к количеству молей жидкой фазы на входе в сепаратор;

K_i – константа фазового равновесия i -го компонента при температуре и давлении сепарации.

Мольная доля отгона при заданном составе исходной смеси z'_i , давлении и температуре сепарации рассчитывается методом последовательного приближения путем подбора такого значения, при котором сумма мольных долей y'_i будет равна единице:

$$\sum \frac{z'_i \cdot K_i}{1 + e'(K_i - 1)_i} = 1 \quad (2)$$

Значения констант фазового равновесия компонентов газа при рабочих условиях представлена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Значения констант фазового равновесия

Компонент	Значение при 40 °С и 1,8 МПа
CO ₂	5,56
N ₂	50,60
CH ₄	12,18
C ₂ H ₆	2,54
C ₃ H ₈	0,83
C ₄ H ₁₀	0,28
$\sum C_{5+}$	0,0001

Константа фазового равновесия компонента «C₅₊» сложно определима, так как включает в свой состав множество тяжелых соединений, поэтому для результатов технологического расчета условно принимается за 0,0001.

Путем последовательного приближения определяем мольную долю отгона по уравнению (2):

$$e' = 0,886$$

Рассчитываем мольный состав газовой и жидкой фазы:

Молекулярную массу компонента «C₅₊» находим из уравнения аддитивности, зная молекулярную массу разделяемой смеси M_{см}:

$$\sum (z'_i \cdot M_i) = M_{\text{см}} = 60 \quad (3)$$

$$0,005 \cdot 44 + 0,03 \cdot 28 + 0,8 \cdot 16 + 0,03 \cdot 30 + 0,02 \cdot 44 +$$

$$+ 0,02 \cdot 58 + 0,095 \cdot M_{\text{C}_{5+}} = 60$$

$$M_{\text{C}_{5+}} = 455$$

Рассчитаем мольную долю компонентов в газовой фазе по уравнению (1):

$$y'_1 = \frac{0,005 \cdot 5,56}{1 + 0,886 \cdot (5,56 - 1)} = 0,0055;$$

$$y'_2 = \frac{0,03 \cdot 50,6}{1 + 0,886 \cdot (50,6 - 1)} = 0,0338;$$

$$y'_3 = \frac{0,8 \cdot 12,18}{1 + 0,886 \cdot (12,18 - 1)} = 0,8935;$$

$$y'_4 = \frac{0,03 \cdot 2,54}{1 + 0,886 \cdot (2,54 - 1)} = 0,0322;$$

$$y'_5 = \frac{0,02 \cdot 0,83}{1 + 0,886 \cdot (0,83 - 1)} = 0,0195;$$

$$y'_6 = \frac{0,02 \cdot 0,28}{1 + 0,886 \cdot (0,28 - 1)} = 0,0155;$$

$$y'_7 = \frac{0,095 \cdot 0,0001}{1 + 0,886 \cdot (0,0001 - 1)} = 8,327 \cdot 10^{-5}.$$

Рассчитываем мольную долю компонентов в жидкой фазе, результаты заносим в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Мольный состав фаз

Компонент	z'_i	M_i	K_i	y'_i	$x'_i = \frac{y'_i}{K_i}$
CO ₂	0,0050	44	5,56	0,0055	0,0010
N ₂	0,0300	28	50,60	0,0338	0,0007
CH ₄	0,8000	16	12,18	0,8935	0,0734
C ₂ H ₆	0,0300	30	2,54	0,0322	0,0127

Продолжение таблицы 2.5

Компонент	z'_i	M_i	K_i	y'_i	$x'_i = \frac{y'_i}{K_i}$
C ₃ H ₈	0,0200	44	0,83	0,0195	0,0235
C ₄ H ₁₀	0,0200	58	0,28	0,0155	0,0552
ΣC_{5+}	0,0950	455	0,0001	$8,327 \cdot 10^{-5}$	0,8327
Сумма	1,0000	–	–	1,0000	1,0000

Выполним расчет покомпонентного массового состава газовой фазы. Результаты заносим в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 – Массовый состав газовой фазы

Компонент	M_i	y'_i	$y'_i \cdot M_i$	$y_i = \frac{y'_i \cdot M_i}{\sum (y'_i \cdot M_i)}$	$y_i \cdot 100$, % масс.
CO ₂	44	0,0055	0,2427	0,0133	1,33
N ₂	28	0,0338	0,9457	0,0518	5,18
CH ₄	16	0,8935	14,2959	0,7835	78,35
C ₂ H ₆	30	0,0322	0,9668	0,0530	5,30
C ₃ H ₈	44	0,0195	0,8599	0,0471	4,71
C ₄ H ₁₀	58	0,0155	0,8970	0,0492	4,92
ΣC_{5+}	455	$8,327 \cdot 10^{-5}$	0,0379	0,0021	0,21
Сумма	–	1,0000	18,2460	1,0000	100,00

Выполним расчет покомпонентного массового состава жидкой фазы. Результаты заносим в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Массовый состав жидкой фазы

Компонент	M_i	x'_i	$x'_i \cdot M_i$	$x_i = \frac{x'_i \cdot M_i}{\sum (x'_i \cdot M_i)}$	$x_i \cdot 100$, % масс.
CO ₂	44	0,0010	0,0436	0,0001	0,0113
N ₂	28	0,0007	0,0187	0,0000	0,0049
CH ₄	16	0,0734	1,1737	0,0031	0,3051
C ₂ H ₆	30	0,0127	0,3806	0,0010	0,0989
C ₃ H ₈	44	0,0235	1,0360	0,0027	0,2693
C ₄ H ₁₀	58	0,0552	3,2037	0,0083	0,8327
ΣC_{5+}	455	0,8327	378,8722	0,9848	98,4778
Сумма	–	1,0000	384,7287	1,0000	100,0000

Определяем массовую долю отгона по формуле:

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

$$e = e' \cdot \frac{M_{\text{CM}}^{\Gamma}}{M_{\text{CM}}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{CM}}^{\Gamma} = \sum (y_i' \cdot M_i)$ – средняя молекулярная масса смеси, кг/моль.

$$e = 0,886 \cdot \frac{18,246}{60} = 0,269$$

Плотность газа при нормальных условиях:

$$\rho_{\text{r}}^{\text{нy}} = \frac{M_{\text{CM}}^{\Gamma}}{22,4} \quad (5)$$

$$\rho_{\text{r}}^{\text{нy}} = \frac{18,246}{22,4} = 0,815 \text{ кг/м}^3$$

Плотность газа при рабочих условиях:

$$\rho_{\text{r}} = \rho_{\text{r}}^{\text{нy}} \cdot \frac{T_0 \cdot P}{T \cdot P_0}, \quad (6)$$

где T_0 и P_0 – температура и давление при нормальных условиях.

$$\rho_{\text{r}} = 0,815 \cdot \frac{273 \cdot 1,8}{(273 + 40) \cdot 0,101} = 12,662 \text{ кг/м}^3$$

Для составления материального баланса необходимо определить массовый расход газовой фазы.

Мощность установки очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов составляет 750 тыс. т в год сырьевой ШФЛУ. При этом на одну тонну ШФЛУ приходится 0,156 т прямого газа регенерации, что соответствует 117,750 тыс. т в год обратного газа регенерации.

Для расчета массового расхода блока сепарации на 117,750 тыс. т в год обратного газа регенерации, содержащего в себе конденсат ШФЛУ, принимаем 350 рабочих дней в году, или 8400 часов. Тогда массовый расход (кг/ч) газовой смеси на входе составит:

$$G = \frac{117,750 \cdot 10^6}{8400} = 14017,86 \text{ кг/ч}$$

Количество жидкой фазы (конденсата ШФЛУ) на входе:

$$G_{\text{ж(вх)}} = 0,1 \cdot 14017,86 = 1401,79 \text{ кг/ч}$$

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Газ отделяется от ШФЛУ с производительностью:

$$G_{\Gamma} = e \cdot G_{\text{ж(вх)}} \quad (7)$$

$$G_{\Gamma} = e \cdot G_{\text{ж(вх)}} = 0,269 \cdot 1401,79 = 377,08 \text{ кг/ч}$$

Снизу сепаратора выходит поток жидкости с производительностью по ШФЛУ:

$$G_{\text{ж(вых)}} = G_{\text{ж(вх)}} - G_{\Gamma} \quad (8)$$

$$G_{\text{ж(вых)}} = 1401,79 - 377,08 = 1024,71 \text{ кг/ч}$$

Сверху сепаратора выходит поток газа с производительностью по обратному газу регенерации:

$$G'_{\Gamma} = G_{\Gamma} + 0,9 \cdot G \quad (9)$$

$$G'_{\Gamma} = 377,08 + 0,9 \cdot 1401,79 = 12993,15 \text{ кг/ч}$$

Правильность расчета материального баланса определяется выполнением условия:

$$G = G_{\text{ж(вых)}} + G'_{\Gamma} \quad (10)$$

$$14017,86 = 1024,71 + 12993,15$$

Условие выполняется, следовательно, материальный баланс составлен верно.

Полученные значения материального баланса процесса сепарации заносим в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 – Материальный баланс процесса сепарации

Приход				Расход			
поток	% масс.	кг/ч	тыс. т/год	поток	% масс.	кг/ч	тыс. т/год
Обратный газ регенерации в т. ч. – газ – конденсат ШФЛУ	100,00	14017,86	117,750	Газ в коллектор ТГ в т. ч.	92,69	12993,15	109,142
				– свободный газ регенерации	90,00	12616,07	105,975
	90,00	12616,07	105,975	– газ из потока ШФЛУ	2,69	377,08	3,167
	10,00	1401,79	11,775	Некондиция в коллектор некондиции	7,31	1024,71	8,608
Итого	100,00	14017,86	117,750	Итого	100,00	14017,86	117,750

2.5 Технологический расчет сепаратора

Из материального баланса процесса сепарации следует, что в сепаратор поступает обратный газ регенерации в количестве: $G = 14017,86$ кг/ч, из сепаратора выходит газ в количестве: $G'_r = 12993,15$ кг/ч.

Для предварительного выбора сепаратора определяем объемный расход газа на входе и выходе из сепаратора.

Объемный расход обратного газа регенерации:

$$V_r = \frac{G}{\rho_{см}^{40}}, \quad (11)$$

где $\rho_{см}^{40}$ – плотность поступающей газовой смеси, содержащей ШФЛУ, при рабочей температуре в сепараторе, кг/м³.

Предварительно рассчитываем плотность смеси при 20 °С по уравнению аддитивности, зная соотношение газовой и жидкой фаз:

$$\rho_{см}^{20} = \frac{1}{\frac{0,9}{\rho_r^{20}} + \frac{0,1}{\rho_ж^{20}}} \quad (12)$$

$$\rho_{см}^{20} = \frac{1}{\frac{0,9}{0,759} + \frac{0,1}{615}} = 0,840 \text{ кг/ч,}$$

где $\rho_r^{20} = 0,759$ кг/ч – плотность газа регенерации при 20 °С;

$\rho_ж^{20} = 615$ кг/ч – плотность ШФЛУ при 20 °С.

Относительную плотность смеси при 40 °С определяем по уравнению:

$$\rho_4^t = \rho_4^{20} - \alpha \cdot (t - 20) \quad (13)$$

$$\alpha = 0,001838 - 0,00132 \cdot \rho_4^{20}$$

Следовательно:

$$\alpha = 0,001838 - 0,00132 \cdot 0,840 = 0,000712$$

Рассчитываем относительную плотность смеси при рабочей температуре по формуле (13):

$$\rho_4^t = 0,840 - 0,000712 \cdot (40 - 20) = 0,826 \text{ кг/м}^3$$

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Объемный расход обратного газа регенерации по уравнению (11) равно:

$$V_r = \frac{14017,86}{0,826} = 16970,77 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для выбора сепаратора объемный расход газа на выходе из сепаратора необходимо определить при нормальных условиях:

$$V'_r = \frac{G'}{\rho_r^{\text{ну}}} \quad (14)$$

$$V'_r = \frac{G'}{\rho_r^{\text{ну}}} = \frac{12993,15}{0,815} = 15942,52 \text{ м}^3/\text{ч}$$

На основании выполненных расчетов принимаем к установке сетчатый вертикальный газосепаратор типа ГС-1-2,5-800, со следующими характеристиками:

- объем $V = 1,6 \text{ м}^3$;
- внутренний диаметр $D_v = 0,8 \text{ м}$;
- высота $H = 2,5 \text{ м}$;
- производительность по газу $19500 \text{ м}^3/\text{ч}$;

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

3 МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Исходные данные

Произведем механический расчет сетчатого газосепаратора. Необходимые для расчета параметры приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Исходные данные для механического расчета

Параметр	Значение
Внутренний диаметр, мм	800
Высота цилиндрической части, мм	2500
Рабочее давление, МПа	1,8
Рабочая температура, °С	40
Объем аппарата, м ³	1,6
Среда	Обратный газ регенерации, содержащий жидкую фазу ШФЛУ (пожаро- и взрывоопасная)

3.2 Выбор материала

Руководствуясь общими, принципами выбора материалов [33] и учитывая максимальную рабочую температуру 40 °С, давление $1,8 \cdot 10^6$ Па среднюю коррозионность среды, выбираем конструкционную сталь 09Г2С.

Характеристики стали согласно [34] приведены в таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики применяемой стали:

Параметр	Значение
Предел прочности материала при рабочей температуре (σ_B), МПа	192
Предел прочности материала при температуре 20 градусов, МПа	196
Предел текучести материала при рабочей температуре (σ_T), МПа	291
Предел текучести материала при 20 градусах, МПа	300
Плотность, кг/м ³	7850

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Дмитрюк Д.М.</i>				<i>у</i>	58	76
<i>Провер.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>АмГУ 818-об гр.</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

3.3 Допускаемое напряжение

Допускаемое напряжение $[\sigma]$ определяем по формуле (2):

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^*, \quad (15)$$

где η – поправочный коэффициент, равный 0,9 для аппаратов, содержащих взрывоопасную или токсичную среду. Для других случаев он равен 1;

σ^* – нормативное допускаемое напряжение.

За нормативное допускаемое напряжение σ^* принимают меньшее из двух значений:

$$\sigma_1^* = \frac{\sigma_B}{n_B} \quad \text{или} \quad \sigma_2^* = \frac{\sigma_T}{n_T}$$

где n_B и n_T – коэффициенты запаса прочности, равные 2,6 и 1,5 соответственно [35].

В рассматриваемом случае:

$$\sigma_1^* = \frac{\sigma_B}{n_B} = \frac{192}{2,6} = 73,85 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2^* = \frac{\sigma_T}{n_T} = \frac{291}{1,5} = 194 \text{ МПа}$$

Учитывая влияние температуры на механические свойства сталей, содержащих до 2 % углерода:

$$\sigma_1^* = 0,95 \cdot 73,85 = 70,16 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2^* = 1 \cdot 194 = 194 \text{ МПа}$$

Для последующего расчета принимаем $\sigma^* = 70,16$ МПа, тогда допускаемое напряжение $[\sigma]$ по формуле (15) будет равно:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* = 0,9 \cdot 70,16 = 63,14 \text{ МПа}$$

3.4 Расчет толщины стенки цилиндрической части аппарата

Цилиндрическая часть вертикального сепаратора чаще всего представляет собой тонкостенный цилиндр, толщина стенки которого определяется следующей формулой:

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$S = \frac{P_p \cdot D_B}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_p} + C, \quad (16)$$

где S – расчётная толщина, м;

P_p – расчётное избыточное давление, МПа;

D_B – внутренний диаметр аппарата, м;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение на растяжение материала аппарата, МПа;

φ – коэффициент прочности продольного сварного шва;

C – прибавка на коррозию, величину которой принимают в зависимости от коррозионных свойств среды в пределах 1 – 6 мм.

Расчетное избыточное давление определяется по формуле:

$$P_p = P_{\text{раб}} + 0,2, \quad (17)$$

где $P_{\text{раб}}$ – рабочее давление в сепараторе, МПа

Следовательно, расчетное давление равно:

$$P_p = 1,8 + 0,2 = 2 \text{ МПа}$$

Учитывая, что продольные и поперечные швы обечаек стальных аппаратов должны быть только стыковыми, и предполагая двухстороннюю сварку, выполненную автоматически, принимаем $\varphi = 1$.

Величину прибавки на коррозию, учитывая коррозионность среды, принимаем $C = 3$ мм.

Тогда толщины стенки аппарата будет равна:

$$S = \frac{P_p \cdot D_B}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_p} + C = \frac{2 \cdot 0,8}{2 \cdot 63,14 \cdot 1 - 2} + 0,003 = 0,016 \text{ м} = 16 \text{ мм}$$

Учитывая, что наряду с внутренним давлением аппарат испытывает дополнительные нагрузки такие как: ветровая, вес внутренних устройств, вес площадок обслуживания и т.д., толщина обечайки в нижней части аппарата должна быть увеличена. Эта добавка ΔS принимается в зависимости от высоты согласно рекомендациям таблицы 3.3.

Таблица 3.3 – Рекомендуемая величина добавки ΔS (мм)

Общая высота аппарата	ΔS
Небольшая (≤ 20 м)	1 - 2
Средняя (20 - 40 м)	3 - 4
Высокая (> 40 м)	5 - 6

В рассматриваемом случае высота сепаратора примерно равна 3,5 м, следовательно, $\Delta S = 2$ мм.

Тогда толщина обечайки внизу аппарата равна $S_{\text{н}} = 16 + 2 = 18$ мм. Примем эту же толщину обечайки для верха сепаратора.

3.5 Расчет толщины стенки днищ аппарата

Примем для аппарата эллиптические днища верхней и нижней части с отбортовкой 50 мм, тип соединения опоры с корпусом аппарата принимаем – внахлест.

Толщину стенки эллиптического днища определяют в его вершине, где поверхность имеет наибольший радиус кривизны, по формуле (18):

$$S = \frac{P_p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot P_p} + C, \quad (18)$$

Где R – радиус кривизны эллиптического днища, м.

Для стандартных днищ с $R = D_B$ и $H = 0,25D_B$ толщина стенки днищ близка к толщине стенки цилиндрической обечайки.

В нашем случае толщину стенки верхнего, а также нижнего днища принимаем равной 18 мм.

Высоты верхнего и нижнего эллиптических днищ согласно соотношению $H = 0,25D_B$ составляют по 200 мм соответственно.

Общая высота нижнего днища составляет:

$$H_{\text{дн.(н)}} = 0,2 + 0,05 = 0,25 \text{ м};$$

Высота верхней крышки:

$$H_{\text{дн.(в)}} = 0,2 + 0,05 = 0,25 \text{ м}.$$

3.6 Проверка напряжений в нижней части стенки аппарата и в нижнем днище при проведении гидравлических испытаний.

Напряжение в нижней части сепаратора определяется по формуле (19):

$$\sigma = \frac{P_{\Gamma} [D_B + (S - C)]}{2 \cdot \varphi \cdot (S - C)} \leq 0,9\sigma_T, \quad (19)$$

где P_{Γ} – давление в нижней части аппарата при гидравлическом испытании, МПа.

$$P_{\Gamma} = P_{\text{пр}} + H \cdot 10^{-2}, \quad (20)$$

где $P_{\text{пр}}$ – пробное давление, МПа;

H – высота столба воды в аппарате, м.

$$P_{\text{пр}} = P_p + 0,3 = 1,8 + 0,3 = 2,1 \text{ МПа}$$

Высота днища складывается из высоты выпуклой части днища (для стандартных днищ она равна $0,25D_B$) и высота цилиндрического борта (50 мм), следовательно:

$$H = 2,5 + 0,25 + 0,25 = 3 \text{ м}$$

Следовательно, давление в нижней части аппарата при гидравлическом испытании по формуле (19) равно:

$$P_{\Gamma} = 2,1 + 3 \cdot 10^{-2} = 2,13 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \frac{P_{\Gamma} [D_B + (S - C)]}{2 \cdot \varphi \cdot (S - C)} = \frac{2,13 [0,8 + (0,018 - 0,003)]}{2 \cdot 1 \cdot (0,018 - 0,003)} = 57,87 \text{ МПа}$$

$$0,9 \cdot \sigma_T = 0,9 \cdot 291 = 261,9 \text{ МПа}$$

$\sigma < 0,9 \cdot \sigma_T$, следовательно, полученная величина стенки $S = 18$ мм обеспечивает прочность обечайки при гидравлическом испытании.

Напряжение в нижнем днище:

$$\sigma = \frac{P_{\Gamma} [D_B + 0,5 \cdot (S - C)]}{2 \cdot \varphi \cdot (S - C)} = \frac{2,13 [0,8 + 0,5 \cdot (0,018 - 0,003)]}{2 \cdot 1 \cdot (0,018 - 0,003)} = 57,33 \text{ МПа}$$

$\sigma < 0,9 \cdot \sigma_T$, следовательно, прочность днища обеспечена при гидравлическом испытании.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

4.1 Характеристика пожароопасных и токсичных свойств сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства

Эксплуатация установки газофракционирования связана с обращением значительных количеств горючих и сжиженных газов, легковоспламеняющихся жидкостей.

Кроме того, в сырье и продуктах содержатся следовые количества сероводорода (H_2S). Это высокотоксичный газ, в высоких концентрациях приводящий к серьезным неблагоприятным последствиям для здоровья человека, либо к летальному исходу.

Обращающиеся вещества по степени воздействия на организм относятся к веществам 1, 2, 3, 4 классов опасности.

Учитывая свойства опасных веществ, основными факторами опасности на производстве являются:

- Возможность загорания и взрыва горючих газов и паров ЛВЖ при аварийной разгерметизации оборудования и трубопроводов;
- возможность загорания и взрыва горючих газов и паров ЛВЖ внутри оборудования при грубых нарушениях норм технологического режима;
- способность обращающихся продуктов накапливать статическое электричество, что может, в свою очередь, привести к воспламенению и взрыву как внутри оборудования, так и на открытых пространствах;
- возможность воздействия на обслуживающий персонал токсичных веществ при аварийной утечке из оборудования.

При контакте с организмом эти вещества могут вызывать производственные травмы, производственные заболевания или отклонения в состоянии здоровья человека.

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Дмитрюк Д.М.</i>				<i>у</i>	<i>63</i>	<i>76</i>
<i>Провер.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>АмГУ 818-об гр.</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

Физиологическое воздействие на организм человека проявляется в виде острых или хронических отравлений за счет токсичности применяемых веществ, либо в виде травм слизистых оболочек и кожных покровов при попадании на незащищенные участки тела.

Вредные вещества могут поступать в организм человека через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, поврежденную или неповрежденную кожу.

Основными факторами, определяющими токсичность веществ, являются их физико-химические свойства, комбинированное их действие, внешние условия, концентрация и продолжительность действия.

При нарушении герметичности трубопроводов и оборудования, попадающие в атмосферу углеводороды образуют паровые облака, которые могут привести к трем типам аварий:

- взрыву парового облака;
- пожару;
- к токсичному действию на людей.

К основным опасностям производства относятся также непрофессиональные или ошибочные действия обслуживающего персонала.

На установке газофракционирования обращаются вещества, способные образовывать взрывоопасные смеси горючих газов и паров с воздухом с низким пределом взрываемости. Ряд этих веществ отнесен к вредным, т.е. при контакте с организмом человека в случае нарушения требований безопасности они могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья человека.

Свойства веществ, влияющие на безопасную эксплуатацию производства, определяются в первую очередь физиологическим воздействием на организм человека, а также способностью этих веществ взрываться, гореть, образовывать взрывчатые соединения или инициировать взрывы и пожары.

Токсичность веществ и их воздействие на организм человека определяется рядом факторов, из которых основными являются физико-химические

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64

свойства веществ, внешние условия, концентрация и продолжительность воздействия.

Рабочие среды, обращающиеся на производстве, по характеру воздействия на организм человека относятся к 4 и 3 классу опасности (ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», ГОСТ 12.1.007-76 «Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»). Вещества 4 класса опасности – предельные углеводороды C₁ – C₉ [33-34].

Характеристика пожароопасных и токсичных свойств сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства согласно справочнику «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, и средства их тушения» приведены в таблице 4.1 [35].

Таблица 4.1 – Данные по характеристике пожароопасных и токсичных свойств сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства

Наименование продуктов	Класс опасности вещества	Агрегатное состояние при нормальных условиях	Возможность воспламенения или взрыва при воздействии		Температура, °С			Концентрационные пределы воспламенения		ПДК или ОБУВ в воздухе рабочей зоны производственных помещений, мг/м ³	Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)
			Воды (да/нет)	Кислорода (да/нет)	Самовоспламенения	Воспламенения	Вспышки	Нижний	Верхний		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сырье											
Очищенная ШФЛУ	4	жидкость	нет	да	406	–	минус 78,1	2	11	300	На организм действует наркотически, учащается пульс, увеличивается объем дыхания (кислородное голодание), ослабление внимания, нарушение координации, потеря сознания. При попадании ШФЛУ на кожу может вызвать обморожение.

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Продукция											
Товарная пропановая фракция	4	газ	нет	да	466	504 – 588	минус 102	1,8	9,1	300	Человек может испытывать головокружение, сердцебиение, слабость, состояние опьянения, беспричинную веселость, а затем потерю сознания.
Товарная бутановая фракция	4	газ	нет	да	405	–	минус 60	1,8	8,5	300	Человек может испытывать раздражение слизистой оболочки глаз и кожи, головокружение, сердцебиение, слабость, состояние опьянения, беспричинную веселость, а затем потерю сознания.
Товарная пентангексановая фракция	4	жидкость	нет	да	200,6	–	минус 60	1,24	7,5	300	Действует на организм наркотически. Вызывает головокружение, сердцебиение, слабость, состояние опьянения, потерю сознания. Раздражает слизистые оболочки глаз и кожи. При воздействии на кожу вызывает сухость, дерматиты.
Реагенты/материалы											
Топливный газ НД	4	газ	нет	да	460 – 537	–	–	4,4	17	300	Малоопасное вещество. В высоких концентрациях вызывает сильное возбуждение, отравление с потерей сознания. Оказывает на организм наркотическое действие, действует на центральную нервную систему. При длительном вдыхании и низкой концентрации приводит к хроническим заболеваниям.
Азот	–	газ	нет	нет	–	–	–	–	–	–	Инертный газ, обладает удушающим действием от недостатка кислорода.
Смазочное масло насосного оборудования	3	жидкость	нет	да	320	158	–	–	–	5	–

4.2 Основные опасности производства, обусловленные особенностями технологического процесса очистки и газофракционирования ШФЛУ

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [36], факторы производственной среды делятся на опасные и вредные.

Опасный производственный фактор – это фактор среды и трудового процесса, воздействие которого на работающего при определенных условиях может привести к заболеванию или снижению работоспособности. Определенные условия – это интенсивность, длительность, тяжесть, напряженность и другие неблагоприятные условия труда, которые могут вызвать профессиональное заболевание, временное или стойкое снижение работоспособности, повысить частоту заболеваний, привести к нарушению здоровья следующих поколений.

Основные опасные и вредные производственные факторы можно разделить на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизические (социальные).

Физические факторы:

- движущиеся машины и механизмы;
- незащищенные подвижные части производственного оборудования, передвигающиеся изделия, материалы;
- неудовлетворительный микроклимат рабочей зоны (повышенная или пониженная температура воздуха, влажность, скорость движения воздуха, запыленность);
- возможная загазованность воздуха рабочей зоны в случае разгерметизации трубопроводов и аппаратов, в колодцах, приямах, емкостях;
- повышенная температура поверхностей оборудования и материалов;
- опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, вероятность накопления зарядов статического электричества;
- опасный уровень давления в технологическом оборудовании и трубопроводах;
- повышенный уровень шума, вибрации, ультразвука и инфразвука на рабочем месте;
- пониженная освещенность рабочего места, пульсация светового потока;

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

- пожаро- и взрывоопасность рабочих сред, используемых материалов;
- перепады по высоте на рабочих местах.

Химические факторы – наличие в жидких и газообразных рабочих средах токсических, раздражающих, канцерогенных и других вредных веществ.

Биологические факторы – микроорганизмы (бактерии, вирусы и т.д.) и макроорганизмы, воздействие которых может привести к травмам и заболеваниям.

Психофизиологические:

- физические перегрузки (статические и динамические);
- нервнопсихические перегрузки (умственное перенапряжение, перенапряжение органов слуха, зрения и др.).

При нарушениях технологического режима, несоблюдении правил промышленной безопасности, а также при авариях возможно:

- возникновение пожара и взрыва при выбросе сред в результате разгерметизации фланцевых соединений, торцевых узлов насосов и запорной арматуры;
- возникновение пожара и взрыва при работе в загазованной зоне искроопасным инструментом;
- отравление работающих в случае утечки через неплотности фланцевых соединений, нарушении правил промышленной безопасности при проведении газоопасных работ;
- термические ожоги;
- поражение работающих электрическим током в случае выхода из строя заземления токоведущих частей, пробоя изоляции;
- взрыв, воспламенение ШФЛУ за счет образования статического электричества при нарушении правил перекачки.

Для всех секций опасными местами являются [36]:

- точки отбора проб для лабораторного анализа;
- колодцы промканализации, где возможно скопление газов и вредных веществ;

– оборудование, вскрытое для ремонта.

4.3 Меры безопасности при ведении технологического процесса, выполнении регламентных производственных операций

Согласно ГОСТ 12.3.002-2014 «Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности» [37], основными мерами, обеспечивающими безопасную эксплуатацию производства, предотвращающими аварии и несчастные случаи являются:

- строгое соблюдение обслуживающим персоналом должностных, производственных инструкций и норм технологического режима;
- поддержание температуры, давления в пределах заданных величин;
- поддержание заданных расходов технологических сред;
- постоянство и отсутствие резких изменений уровней в емкостном оборудовании.

Для обеспечения нормальной работы установки обслуживающий персонал производства ведет постоянный контроль технологического процесса. Предусмотрены сигнализация и блокировки основных технологических параметров.

Управление технологическим процессом осуществляется с помощью автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП). АСУТП имеет высокую отказоустойчивость и обеспечивает надежную, эффективную и безопасную эксплуатацию установки.

Для предупреждения возникновения аварийных ситуаций предусмотрена система противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ), обеспечивающая безопасную остановку или перевод процесса в безопасное состояние по заданной программе.

Для обеспечения безопасного ведения процесса и соблюдения охраны труда необходимо выполнение следующих условий:

- выполнение требований технологического регламента, инструкций по рабочим местам, инструкций по охране труда, промышленной безопасности, пожарной безопасности, инструкций по отдельным видам работ;

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		69

– наличие планов ликвидации аварийных ситуаций, в которых предусматриваются действия персонала по ликвидации аварийных ситуаций и предупреждению аварий, а также технические системы и средства, используемые при этом;

– допуск к работе только лиц, прошедших профессионально-техническую подготовку по специальности;

– знание персоналом токсичных и взрывопожароопасных свойств, обрабатываемых в технологическом процессе веществ;

– знание персоналом мест размещения аварийных душей и противопожарных щитов;

– умение персонала оказывать первую медицинскую помощь;

– работа в исправной спецодежде, наличие при себе индивидуальных средств защиты, умение ими пользоваться;

– проведение ремонтных, электро- и газосварочных работ только по специальному разрешению уполномоченных лиц;

– наличие инструкций заводов-изготовителей по безопасной эксплуатации на все виды оборудования;

– содержание средств пожаротушения в исправном состоянии;

Для исключения возможности возникновения взрывов, пожаров, ожогов и отравлений необходимо:

– соблюдение норм технологического режима процессов;

– обеспечение исправного состояния и бесперебойной работы контрольно-измерительных приборов, систем автоматизации, сигнализации и блокировок;

– обеспечение исправного состояния оборудования, запорной арматуры, регулирующих и предохранительных клапанов;

– обеспечение герметичности оборудования;

– постоянное наличие азота для продувок;

– вывод сбросов нейтральных газов и паров от оборудования в безопасное место;

					ВКР.181141.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

- наличие заземления электрооборудования, аппаратов и трубопроводов;
- обеспечение своевременного проведения предупредительного и планового ремонта оборудования и трубопроводов;
- наличие ограждения движущихся частей оборудования, гарантирующее безопасность обслуживающего персонала;
- при остановке на ремонт отдельных единиц оборудования – отключение его от работающего оборудования и коммуникаций арматурой и заглушками, продувка не менее чем 5-ти кратным объемом азота;
- использование для отбора проб специальных герметичных пробоотборных устройств;
- наличие надлежащей тепловой изоляции аппаратов и трубопроводов для обеспечения безопасности персонала;
- обеспечение персонала спецодеждой и индивидуальными средствами защиты;
- проведение регулярного обучения, тестирования и тренировки персонала всех служб по специальной программе обучения действиям по локализации и ликвидации аварий, а также способам защиты от поражающих факторов в чрезвычайных ситуациях.

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс адсорбционной очистки и газофракционирования ШФЛУ на сегодняшний день является одним из основных процессов промышленного разделения углеводородных газов. Данный процесс предполагает большой выбор сырья для получения индивидуальных компонентов природного газа и последующих продуктов, необходимых для использования человеком практически во всех сферах деятельности, что только подчеркивает его необходимость, позволяя повышать процент переработки газового сырья и получать ценное сырье нефтехимии. Поэтому дальнейшее развитие процесса становится актуальным вопросом и зависит от совершенствования подготовки сырья и повышения качества получаемой продукции.

В работе произведен подбор и анализ научно-технической документации и литературы для рассмотрения процессов очистки и разделения природного газа на индивидуальные компоненты.

Изучена технологическая схема адсорбционной очистки и газофракционирования ШФЛУ, включая аппараты и оборудование, технологические параметры, особенности ведения процесса, что позволило разработать способы повышения операционной эффективности.

Выполнены основные технологические расчеты установки сепаратора обратного газа регенерации, произведен механический расчет оборудования с целью определения параметров оптимальной организации процесса.

Рассмотрены основные опасности производства и меры безопасности при ведении технологического процесса, токсичные и пожароопасные свойства рабочих сред, сырья, готовой продукции и правила обращения с ними.

В графической части работы выполнен чертеж установки адсорбционной очистки и газофракционирования ШФЛУ.

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Дмитрюк Д.М.</i>			<i>Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				у	72	76
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>			<i>АмГУ 818-об гр.</i>			
<i>Утв.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

2 ИТС 50–2017. Переработка природного и попутного газа. – М. : Бюро НДТ, 2017. – 222 с.

3 Скобло, А. И. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: учебник для вузов / А. И. Скобло, Ю. К. Молоканов, А. И. Владимиров, В. А. Щелкунов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 677 с.

4 Очистка природных газов / Т. А. Семенова [и др.]. – М. : Химия, 1997. – 314 с.

5 Очистка газов от кислых компонентов / Л. И. Муллахметова [и др.] // Вестник технологического университета. – 2017. – № 3. – С. 54-59.

6 Шумяцкий, Ю. И. Адсорбционные процессы: учебное пособие / Ю. И. Шумяцкий. – М. : Изд-во РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2005. – 164 с.

7 Технология переработки природного газа и конденсата / В. И. Мурын [и др.]. – М. : Недра, 2002. – 517 с.

8 Муллахметова, Л. И. Попутный нефтяной газ: подготовка, транспортировка и переработка / Л. И. Муллахметова, Е. И. Черкасова // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 19. – С. 83-90.

9 Мельников, В. Б. Промысловый сбор и переработка газа и газового конденсата: учебник для вузов / В. Б. Мельников. – М. : Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, 2017. – 464 с.

10 Популярная нефтехимия / под ред. А. А. Костина. – М. : Эксмо, 2012. – 105 с.

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Повышение операционной эффективности процесса адсорбционной очистки и газофракционирования широкой фракции легких углеводородов на Амурском ГПЗ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Дмитрюк Д.М.</i>				у	73	76
<i>Провер.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>				<i>АмГУ 818-об гр.</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

- 11 Чуракаев, А. М. Переработка нефтяных газов: учебник для рабочих / А. М. Чуракаев. – М. : Недра, 1983. – 279 с.
- 12 Потехин, В. М. Химия и технология углеводородных газов и газового конденсата / В. М. Потехин. – СПб : ХИМИЗДАТ, 2016. – 560 с.
- 13 Лapidус, А. Л. Газохимия: учебник для вузов / 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. Губкина, 2013. – 405 с.
- 14 Газофракционирование / Л. И. Муллахметова [и др.] // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 24. – С. 49-55.
- 15 Кемпбел, Д. М. Очистка и переработка природных газов / Норман, США, 1972. – пер. с англ. под ред. С. Ф. Гудкова – М. : Недра, 1977. – 349 с.
- 16 Бусыгина, Н. В. Технология переработки природного газа и газового конденсата / Н. В. Бусыгина, И. Г. Бусыгин. – Оренбург : ИПК «Газпромпе-чать» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2002. – 432 с.
- 17 Агабеков, В. Е. Нефть и газ: технологии и продукты переработки / В. Е. Агабеков, В. К. Косяков. – Ростов н/Д : Феникс, 2014. – 458 с.
- 18 Стерлигова, А. Н. Операционный (производственный) менеджмент: учеб. пособие / А. Н. Стерлигова, А. В. Фель. – М. : ИНФРА-М, 2009. – 187 с.
- 19 Дорошенко, Ю. А. Методические аспекты оценки эффективности опе-рационной деятельности промышленного предприятия / Ю. А. Дорошенко, О. И. Салмина // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2013. – №3. – С. 113-116.
- 20 Карасева, Е. К. Операционная эффективность предприятия / Е. К. Ка-расева // Индустриальная экономика. – 2018. – № 1. – С. 23-25.
- 21 Туровец, О. Г. О концепции эффективной организации производства / О. Г. Туровец // Организатор производства. – 2008. – № 3(38). – С. 9-11.
- 22 Голоскоков, А. С. Системный подход к повышению операционной эф-фективности в менеджменте / А. С. Голоскоков // Вестник университета. – 2017. – № 9. – С. 5-9.
- 23 ТУ 38.101524-2015 Фракция широкая легких углеводородов.

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		74

24 ТУ 0272-156-31323949-2014 Фракция пропановая, поставляемая на экспорт.

25 ТУ 0272-157-31323949-2014 Фракция бутановая, поставляемая на экспорт.

26 ТУ 0272-158-31323949-2014 Фракция пентан-гексановая, поставляемая на экспорт.

27 Некоторые аспекты применения частотно-регулируемого электропривода в системах воздушного охлаждения компримированного газа / И. И. Артюхов [и др.] // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2006. – Т. 1. – № 1(10). – С. 29-39.

28 Мутугуллина, И. А. Устройство и расчет аппаратов воздушного охлаждения (АВО): учебное пособие / И. А. Мутугуллина. – Бугульма : Казанский национальный исследовательский технологический университет, Бугульминский филиал, 2017. – 80 с.

29 Чернышев, И. А. Исследование асинхронного частотно-регулируемого электропривода аппарата воздушного охлаждения газа / И. А. Чернышев, Т. А. Чернышева // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2014. – Т. 1. – № 3(19). – С. 30-38.

30 Аппаратура процессов разделения гомогенных и гетерогенных систем: учеб. пособие / Е. А. Дмитриев [и др.]. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. – 104 с.

31 Мильштейн, Л. М. Нефтегазопромысловая сепарационная техника: справочное пособие / Л. М. Мильштейн, С. И. Бойко, Е. П. Запорожец. – М. : Недра, 1992. – 236 с.

32 Гужель, Ю. А. Практикум по технологическому расчету промышленного оборудования / Ю. А. Гужель. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т., 2021. – 57 с.

33 ГОСТ Р 52630-2012. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ Р 52630-2006 ; введ. 2013-04-01. – М. :

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		75

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии ; М. : Стандартиформ, 2013. – 121 с.

34 ГОСТ 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. – введ. 2018-08-01. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии ; М. : Стандартиформ, 2019. – 35 с.

35 Прочностные расчеты отдельных элементов технологического оборудования: учебное пособие / А. П. Леонтьев [и др.]. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2012. – 144 с.

36 ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Взамен ГОСТ 12.1.005-76 ; введ. 1989-01-01. – М. : Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР ; М. : Стандартиформ, 2008. – 78 с.

37 ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – введ. 1977-01-01. – М. : Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР ; М. : Стандартиформ, 2007. – 7 с.

38 Корольченко, А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, и средства их тушения: справочник / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Ассоциация «Пожарнаука», 2004. – 713 с.

39 ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Взамен ГОСТ 12.0.003-74 ; введ. 2017-03-01. – М. : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Стандартиформ, 2019. – 16 с.

40 ГОСТ 12.3.002-2014. Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности. – Взамен ГОСТ 12.3.002-75 ; введ. 2016-07-01. – М. : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Стандартиформ, 2019. – 12 с.

					<i>ВКР.181141.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		76