

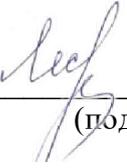
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ Ю.А. Гужель
« ____ » _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Модернизация установки деэтанзации

Исполнитель студент группы 618-об	 _____ 23.06.2020 (подпись, дата)	А.Н. Медведева
Руководитель доцент, канд. хим. наук	 _____ (подпись, дата)	С.А. Лескова
Консультант: по безопасности жизне- деятельности доцент, канд. техн. наук	 _____ (подпись, дата)	А.В. Козырь
Нормоконтроль проф., док. хим. наук	 _____ 25.06.2020 (подпись, дата)	Т.А. Родина

Благовещенск 2020

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

Факультет Инженерно-физический
Кафедра Химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____ Ю.А. Гужель
« ____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Медведевой Анастасии Николаевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Модернизация установки деэтанзации» утверждена Приказом от 01.06.2020 г № 975-уч
2. Срок сдачи студентом законченной работы 04.07.2020 г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: производительность по сырью 34000 кг/ч., температура емкости орошения колонны 10 °С, давление емкости орошения 2,8 МПа, контактные устройства – колпачковые тарелки, КПД 0,5. Рабочая документация, учебная литература, нормативная документация, чертежные схемы
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по процессам газоразделения. Характеристика сырья и готовой продукции установок газоразделения. Описание технологической схемы установки деэтанзации. Составление материального баланса ректификационной колонны. Технологический расчет ректификационной колонны. Механический расчет колонны после модернизации.
5. Перечень материалов приложения: Технологическая схема установки деэтанзации. Основной вид ректификационной колонны
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А.В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность производства»
7. Дата выдачи задания 02.06.2020 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Лескова Светлана Анатольевна, доцент, канд. хим. наук

Задание принял к исполнению 02.06.2020 г.



РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 76 с., 1 рисунок, 12 таблиц, 98 формул, 33 источника.

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ, КОЛОННА, РЕКТИФИКАЦИЯ, КОНДЕНСАЦИЯ, ТЕМПЕРАТУРА, УСТАНОВКА, ФРАКЦИЯ, КОМПОНЕНТ, СХЕМА, ФАЗА, СМЕСЬ, АППАРАТ, ПОТОК, ГАЗ, ДОЛЯ ОТГОНА, СЫРЬЕ, ПРОДУКТ, ТАРЕЛКА

Объектом исследования выпускной квалификационной работы являлась установка деэтанализации.

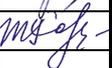
Цель работы – изучить действие установки деэтанализации и предложить ее модернизацию.

В результате исследования были рассмотрены способы газоразделения. Изучена технологическая схема установки деэтанализации, нормативная и рабочая документация, учебная литература. Проведен технологический и механический расчеты ректификационной колонны. Выявлен проблемный участок и предложена модернизация по усовершенствованию ректификационной колонны, которая заключалась в замене контактных устройств на более эффективные. Рассмотрено влияние фракционирующей установки на окружающую среду.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Медведева А.Н.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Лескова С.А.</i>				<i>у</i>	<i>3</i>	<i>76</i>
<i>Консульт.</i>					Модернизация установки деэтанализации АМГУ ИФФ зр. 618-од		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>						

СОДЕРЖАНИЕ

Нормативные ссылки	6
Определения, обозначения, сокращения	7
Введение	8
1 Литературный обзор	10
1.1 Основы процесса газоразделения	10
1.2 Способы газоразделения	11
1.2.1 Адсорбция	11
1.2.2 Абсорбция	13
1.2.3 Мембранные технологии	14
1.2.4 Конденсация	16
1.2.5 Ректификация	17
1.3 Сущность процесса дезтанизации	17
2 Технологическая часть	22
2.1 Характеристика сырья и готовой продукции	22
2.2 Описание технологической схемы установки	23
2.3 Материальный баланс колонны	25
2.4 Технологический расчет колонны	29
2.4.1 Расчет ректификационной колонны	29
2.4.2 Обоснование модернизации ректификационной колонны	45
3 Механический расчет колонны	47
3.1 Расчет конструкции аппарата	47
3.2 Расчет на действие ветровых сил	51
4 Безопасность и экологичность производства	69
4.1 Основные требования безопасности при эксплуатации установки	69

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Медведева А.Н.</i>	<i>Лескова С.А.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Лескова С.А.</i>	<i>Родина Т.А.</i>			У	4	76
<i>Консульт.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>			Модернизация установки дезтанизации АМГУ ИФФ гр. 618-об		
<i>Зав. каф.</i>							

4.2 Воздействие на окружающую среду при условиях аварийной и без-
аварийной эксплуатации

70

Заключение

73

Библиографический список

74

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						5
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей бакалаврской работе использованы ссылки на следующие стандарты и нормативные документы:

ГОСТ 14637-89 Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия

ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность

ГОСТ Р 52087-2003 Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия

ГОСТ Р 52630-12 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия

ИТС 50-2017 Переработка природного и попутного газа

ТУ 0272-022-00151638-99 Фракция этановая

ОСТ 26-467-84 Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов

СТО Газпром НТП 1.8-001-2004 Нормы технологического проектирования объектов газодобывающих предприятий и станций подземного хранения газа

ТУ 38.101524-2015 Фракция широкая легких углеводородов

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Медведева А.Н.</i>	<i>А.Н. Медведева</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Лескова С.А.</i>	<i>С.А. Лескова</i>			<i>У</i>	<i>6</i>	<i>76</i>
<i>Консульт.</i>					<i>Модернизация установки дезтанизации</i> <i>АМГУ ИФФ зр. 618-об</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>	<i>Т.А. Родина</i>					
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>	<i>Ю.А. Гужель</i>					

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей бакалаврской работе применяют следующие термины с соответствующими определениями:

БТ – бутан технический;

ВКК – высококипящий компонент;

ГПЗ – газоперерабатывающий завод;

КГС – конденсат газовый стабильный;

НТА – низкотемпературная абсорбция;

НТК – низкотемпературная конденсация;

НКК – низкокипящий компонент;

НТР – низкотемпературная ректификация;

ПА – пропан автомобильный;

ПБА – пропан-бутан автомобильный;

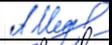
ПБТ – пропан-бутан технический;

ПГ – природный газ;

ПТ – пропан технический;

СУГ – сжиженные углеводородные газы;

ШФЛУ – широкая фракция легких углеводородов.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Медведева А.Н.</i>			<i>Модернизация установки дезтанизации</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Лескова С.А.</i>				<i>у</i>	<i>7</i>	<i>76</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АМГУ ИФФ гр. 618-0б</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных составляющих формирования экономики страны, является нефте-, газоперерабатывающая отрасль. Газовые ресурсы вовлекались в промышленное освоение вслед за нефтяными ресурсами.

В настоящее время в различных отраслях используют продукты газоперерабатывающих предприятий с их различными свойствами и качествами. В химической технологии все больше вводятся в эксплуатацию установки для выделения практически чистых продуктов.

Так, например, этан является ценным сырьем в химической промышленности. Одним из способов его получения является деэтанализация нестабильного газового конденсата на установках деэтанализации.

Этановая фракция служит сырьем пиролиза, целевым продуктом осуществляемого процесса является этилен, при переработке которого, получают полиэтилен, этиловый спирт, этиленгликоль и др.

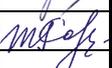
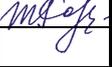
Ввиду широкого использования продукта переработки этановой фракции, необходимо повышать производительность уже функционирующих установок деэтанализации, для увеличения выхода целевого компонента. Или же эксплуатировать установки с сохранением производительности, но с меньшими затратами на их конструирование.

В связи с этим проведем исследование теоритически возможного разделения и на его примере предложим модернизацию.

Цель выпускной квалификационной работы – изучить действие установки деэтанализации и предложить ее модернизацию.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

- рассмотреть способы газоразделения и разобрать основы деэтанализации;
- изучить технологическую схему установки деэтанализации;

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Медведева А.Н.</i>			<i>Модернизация установки деэтанализации</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Лескова С.А.</i>				<i>у</i>	<i>8</i>	<i>76</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АМГУ ИФФ гр. 618-0б</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

- провести технологический и механический расчеты ректификационной колонны, выявить проблемный участок;
- предложить и обосновать модернизацию установки.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						9
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Основы процесса газоразделения

При разделении газовых смесей применяются такие процессы как массо-обмен или диффузия. В процессе газоразделения участвуют две фазы: жидкая и парогазовая, в случае абсорбции, конденсации и ректификации; твердая и парогазовая, в случае адсорбции.

Основой процесса газоразделения являются различия физико-химических свойств компонентов газа. Давление насыщенных паров компонентов – наиболее важный показатель, оказывающий влияние на технологические параметры процессов разделения. Четкость, которых, для углеводородных газов в значительной степени зависит от относительной летучести компонентов.

Летучесть компонентов вычисляется по формуле:

$$\alpha = \gamma_1 p_1 / \gamma_2 p_2 = K_1 / K_2 \quad (1.1)$$

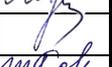
где γ_1, γ_2 – коэффициенты активности разделяемых компонентов;

p_1, p_2 – давления насыщенных паров компонентов;

K_1, K_2 – константы фазового равновесия.

Компоненты или фракции углеводородов, которые имеют большую разность значений летучести, разделяются легче и требуют небольшой затраты энергии [1].

Для бинарной системы значения относительной летучести увеличиваются с понижением температуры и уменьшаются с повышением давления, что в свою очередь делает их непостоянными. Если увеличивать давление при одной и той же температуре, то в жидкую фазу будет переходить большее количество легких углеводородов, т.е. четкость разделения будет снижаться. Если же пони-

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Медведева А.Н.</i>			<i>Модернизация установки дезтанизации</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Лескова С.А.</i>				<i>У</i>	<i>10</i>	<i>76</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АМГУ ИФФ гр. 618-0б</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

жать температуру при постоянном давлении, то четкость разделения компонентов повышается.

Так для более четкого разделения компонентов газа процесс следует вести при низких температурах. Но на практике в целях экономичности, разделение проводят при повышенных давлениях.

1.2 Способы газоразделения

Зачастую все углеводородные газы представляют собой смеси индивидуальных компонентов, которые, в свою очередь, являются ценными химическими соединениями и могут быть в дальнейшем использованы для различных нужд. Поэтому газовые смеси подвергаются разделению на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ).

Известны следующие методы разделения газов:

- адсорбция;
- абсорбция;
- мембранные технологии;
- конденсация;
- ректификация.

Также для извлечения компонентов из газовых смесей используют процессы, протекающие при пониженных температурах. К таким процессам относят низкотемпературную абсорбцию, адсорбцию, ректификацию и конденсацию [2].

1.2.1 Адсорбция

Адсорбция основана на различной способности компонентов газа адсорбироваться на поверхности твердых поглотителей [3].

Этот процесс осуществляется в аппаратах со стационарным слоем адсорбента. Адсорбцию целесообразно использовать только в том случае, когда концентрация компонентов в газе очень мала, но требуется получить продукты высокой степени чистоты. Поэтому извлечение компонентов из газа другими методами является весьма затруднительным.

Адсорбция компонентов, имеющих крайне низкие парциальные давления,

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						11
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

возможна только в области низких температур. Поэтому организация

теплосъема в адсорбционных аппаратах является одним из важных факторов, влияющих на эффективность процесса. Процессы низкотемпературной адсорбции используются в газопереработке, в основном, для очистки инертных газов (аргон, гелий, неон и др.) от микропримесей азота и кислорода или для очистки воздуха от углекислого газа [4].

За счет оптимизации режима параметров цикла адсорбция-десорбция достигается чистота концентрируемого газа и повышается производительность установки. Так как при чередовании стадий происходит значительный перепад температур, что в свою очередь позволяет быстро охлаждать и нагревать большие количества адсорбента [5].

Стадия десорбции проводится под вакуумом с нагреванием адсорбента и с дальнейшей его продувкой; требует весомых энергозатрат.

Адсорбция газов и паров зависит от природы поглощаемого вещества и его парциального давления. В зависимости от этих характеристик подбирается адсорбент, имеющий необходимую удельную поверхность и структуру пор.

Ко всем видам адсорбентов предъявляются особые требования. Они должны обладать:

- высокой поглотительной способностью;
- термической и механической прочностью;
- селективностью;
- малым гидравлическим сопротивлением;
- легкой отдачей адсорбтива (адсорбированного вещества) при регенерации.

Для извлечения углеводородов из смеси в качестве адсорбентов применяют активированный уголь, силикагель и синтетические цеолиты типа – NaX, CaX и др. Отличие активированного угля заключается в том, что он не извлекает воду. Иногда адсорбционный слой состоит из нескольких адсорбентов [6].

Силикагель – это высушенный гель двуокиси кремния, являющийся высокопористым телом по своей структуре.

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Цеолиты – это синтетические алюмосиликатные кристаллические вещества, обладающие значительной поглотительной способностью и высокой избирательностью.

1.2.2 Абсорбция

Процесс абсорбции основывается на различной способности компонентов газа растворяться в жидкой фазе (абсорбенте) с последующим извлечением выделенных компонентов в десорберах. Абсорбция осуществляется в контактных аппаратах – абсорберах, путем диффузии газа через слой жидкости.

В последние годы абсорбцию проводят при пониженных температурах для повышения степени извлечения тяжелых углеводородов [7].

В соответствии с ИТС 20-2017 [8] абсорбенты для извлечения из газа тяжелых углеводородов должны отвечать следующим требованиям:

- отсутствие сернистых соединений, которые подвергаются деструкции при высоких температурах в десорбере и загрязняют товарную продукцию установки;
- отсутствие смол и механических примесей, которые загрязняют оборудование и аппараты;
- узкие интервалы кипения – не более 100 °С, предпочтительно 50 °С – 70 °С, для обеспечения стабильности состава абсорбента;
- высокая плотность;
- высокая избирательность по отношению к целевым компонентам, извлекаемым из газа;
- относительно низкая вязкость при рабочих температурах и давлениях для хорошей перекачиваемости и эффективного массообмена;
- химическая стабильность;
- устойчивость против пено- и эмульсиеобразования, невысокая стоимость и возможность производства из продукции месторождения.

Тип абсорбента и метод его десорбции выбираются в зависимости от характеристики сырья, концентрации извлекаемых компонентов и условий абсорбции в каждом конкретном случае.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		13

Наиболее распространенным в России абсорбционным методом переработки газа является масляная абсорбция. В ходе данного процесса получают около 70 % индивидуальных углеводородов. Особенно часто масляную абсорбцию используют при переработке газов, в которых содержание углеводородов C_{3+} более 100 г/м³.

Для выделения целевых компонентов из природного газа используют низкотемпературную абсорбцию (НТА). Пониженные температуры и повышенные давления на установках НТА позволяют использовать абсорбенты с низкими молекулярными массами (от 80 до 120) и реализовывать процесс при малом удельном расходе абсорбента [7].

Для достижения высокой чистоты разделения используют комбинированные двухступенчатые схемы, совмещая процесс абсорбции и адсорбции. На первой ступени разделение производят абсорбционным методом, при этом удаляется большая часть абсорбируемого компонента и предотвращается забивка пор адсорбентов, используемых в адсорбционной осушке во второй ступени.

1.2.3 Мембранные технологии

Мембранное разделение газов – это технология, основанная на принципе фильтрации газов через разделительную перегородку – мембрану. Данное разделение газовых смесей занимает весомое место среди промышленных процессов переработки углеводородных газов [9].

Мембрана представляет собой гибкую тонкую пленку, приведенную внешними силами в состояние натяжения и обладающую вследствие этого упругостью. Она пропускает сконденсировавшиеся пары, такие как углеводороды C_{3+} , тяжелые ароматические углеводороды, а также воду. Не пропускает неконденсируемые газы метан, этан, гелий, азот и водород.

Мембранная газоразделительная установка включает в себя блок мембранных модулей, через которые продувается подготовленный газ. Полуволоконные мембраны, входящие в состав мембранных модулей, представляют собой трубки со стенками решетчатой структуры, через которые наружу проходят только молекулы определенных газов, молекулы других газов остаются в трубке.

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Мембрана разделяет газ на два потока: остаточный и обогащенный тяжелыми углеводородами. Остаточный поток является целевым продуктом, который отводится с установки и подается потребителю или направляется в резервуарные парки. Второй поток тяжелых углеводородов возвращается на компримирование и снова подается на мембраны [10].

В настоящее время существует большое множество мембран, полученных искусственным путем.

Структура синтезированных мембран разнообразна – от грубых в виде сита, до очень тонких полимерных волокон в виде пленок. Мембраны изготавливают из пористых и непористых органических и неорганических материалов. Керамические, углеродные, стеклянные материалы и цеолиты являются неорганическими. К органическим относят полимерные пленки, плоские тонкие листы, полые волокна, трубки, капилляры.

На сегодняшний день в процессах мембранного разделения используют синтетические полимерные мембраны.

Для изготовления полунепроницаемых мембран применяют:

- полимерные пленки (полиэтиленовые, полипропиленовые, поликарбонатные, фторопластовые и т.п.);
- металлическую фольгу (сплав палладия, серебра, платины, молибдена и др.);
- пористые стекла (натрий боросиликатные) и др. [6].

На эффективность мембранного разделения оказывают влияние параметры: селективность, проницаемость и стабильность во времени.

Проницаемость – это удельная производительность мембран, равная количеству фильтрата, проходящая через единицу поверхности мембраны.

Фактор разделения – селективность мембраны, характеризует полноту (эффективность) мембранного разделения по отношению к целевому компоненту.

Большие размеры пор и хорошая проницаемость мембранного материала и характеризуют мембрану как неэффективную. В данном случае разделение

										Лист
										15
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

ВКР.161864.180301.ПЗ

газа не будет наблюдаться.

1.2.4 Конденсация

Метод парциальной конденсации возможно использовать при разделении углеводородного газового сырья компоненты которого имеют различную способность к конденсации.

Из многокомпонентной смеси в первую очередь, конденсируются тяжелые углеводороды из-за своей низкой температуры кипения. При разделении многокомпонентной смеси необходимо подобрать соответствующие технологические режимы.

При разделении природного газа используется низкотемпературная конденсация (НТК). Это процесс изобарного охлаждения газа, т.е. при постоянном давлении, до температур, при которых при изменении давления появляется жидкая фаза, которая в дальнейшем разделяется в сепараторах. Недостатком данного метода является невысокая четкость разделения углеводородной смеси в результате однократной конденсации и последующей сепарации [11].

На эффективность процесса НТК оказывают влияние давление и температура. Различные комбинации давления и температуры могут соответствовать одной и той же степени конденсации. Повышение давления увеличивает степень конденсации углеводородов, но уменьшает селективность. В области низких давлений степень конденсации быстро меняется с его изменением, но при дальнейшем увеличении давления – снижается. Аналогично влияет изменение температуры: снижение температуры при постоянном давлении наряду с увеличением степени конденсации приводит к увеличению селективности: тяжелые углеводороды переходят в жидкую фазу быстрее. Газы, обогащенные углеводородами C_{5+} , конденсируют при невысоком давлении и умеренных температурах.

НТК применяют довольно широко, например, при необходимости получения большого количества этана или при выделении гелия из природного газа.

1.2.5 Ректификация

Одним из широко известных процессов для разделения углеводородных

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						16
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

смесей на индивидуальные компоненты или фракции в промышленности является ректификация.

Выделяют несколько видов ректификации: низкотемпературную, экстрактивную и азеотропную.

Низкотемпературная ректификация (НТР) – это процесс, заключающийся в охлаждении газа до температуры, при которой смесь переходит в двухфазное состояние и последующем разделении в ректификационных колоннах. Принципиальное отличие схемы низкотемпературной ректификации заключается в подаче сырья в ректификационную колонну без предварительной сепарации [11].

По сравнению с абсорбцией, процесс ректификации более термодинамически выгоден. Схема процесса более эффективна, а аппаратное оформление проще. В ходе ректификации за счет увеличения выхода широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) происходит увеличение выхода газового конденсата и осуществляется глубокая осушка природного газа при обязательном условии соответствия получаемой товарной продукции техническим условиям [12].

В промышленности этот метод используют:

- для разделения природных и нефтяных газов;
- для разделения воздуха с целью получения азота, кислорода и инертных газов (криптона, неона, аргона, ксенона);
- для получения водорода, гелия, оксида углерода, дейтерия;
- для очистки некоторых газов.

Преимуществами ректификации являются:

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

1.3 Сущность процесса деэтанзации

Установка деэтанзации предназначена для выделения этановой фракции из широкой фракции легких углеводородов. Продуктами установки являются этановая фракция и деэтанализованный остаток. Основным оборудованием блока деэтанзации является аппарат колонного типа, в котором происходит массообменный процесс [13].

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						18
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

В технологии широко распространены и имеют большое значение процессы массопередачи, характеризующиеся переходом одного или нескольких веществ из одной фазы в другую [14].

Массопередача – это сложный самопроизвольный процесс, включающий перенос вещества (массы) в пределах одной фазы, перенос через поверхность раздела, а также перенос вещества в пределах другой фазы.

При теплопередаче обменивающиеся теплотой среды, в большинстве случаев, разделены твердой стенкой, в то время как массопередача происходит обычно через границу раздела фаз. Эта граница может быть подвижной и неподвижной. В случае подвижной говорят о массопередаче в системах газ/пар-жидкость и жидкость-жидкость, а неподвижной границей является твердая фаза.

Массоотдача – это перенос вещества из фазы к границе раздела фаз или в обратном направлении, т.е. только в пределах лишь одной фазы.

Массообменными называют такие процессы, скорость протекания которых определяется скоростью переноса вещества из одной фазы в другую, при этом перенос вещества осуществляется в направлении уменьшения его химического потенциала. Для проведения таких процессов используют массообменные аппараты.

Одним из наиболее распространенных методов разделения бинарных или многокомпонентных жидких однородных смесей, является перегонка (дистилляция и ректификация) [15].

Перегонка в широком смысле – это процесс, включающий частичное испарение разделяемой смеси и последующую конденсацию образующихся паров. Она может осуществляться однократно (дистилляция) или многократно (ректификация).

Ректификация является более сложной разновидностью перегонки, так как при ее протекании происходит многократное испарение жидкости и конденсации паров. Она базируется на использовании законов термодинамического равновесия растворов и является массообменным процессом. Процесс позволя-

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						18
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

ет разделять бинарные или многокомпонентные смеси на чистые компоненты или их фракции.

При массообмене происходит контакт двух фаз, которые обмениваются веществом и энергией. При этом обе фазы (жидкая и газообразная) стремятся достичь состояния равновесия, при котором скорости перехода вещества из одной фазы в другую становятся одинаковыми. Составы, находящихся в равновесии фаз, будут существовать неизменными [16].

При ректификации смесь делится на две части: дистиллят и кубовой остаток, в ходе этого осуществляется контакт потоков пара и жидкости, имеющих различную температуру. Разделение основано на различной летучести веществ. При каждом контакте фаз из жидкости испаряется низкокипящий компонент (НКК), которым обогащаются пары, а из паров конденсируется высококипящий компонент (ВКК), переходящий в жидкость.

Такой двусторонний обмен компонентами, повторяемый многократно, в тоге, позволяет получить практически продукт, отводящийся в виде пара с верха колонны. Из этих паров после конденсации в отдельном аппарате получают дистиллят (ректификат) и флегму – жидкость, возвращаемую для орошения колонны и взаимодействия с поднимающимися парами.

Процессы ректификации осуществляются в специальных аппаратах – ректификационных колоннах. Технологическая схема колонн зависит от состава разделяемой смеси, требований к качеству получаемых продуктов, от возможностей уменьшения энергетических затрат, назначения аппарата и давления в нем, а конструкция – от способа организации контакта фаз.

Массообмен в колоннах происходит на специальных контактных устройствах (тарелках, насадках и др.). При ступенчатом осуществлении процесса ректификации в колонных аппаратах контакт пара и жидкости может происходить в противотоке (провальные тарелки), в перекрестном токе (колпачковые тарелки), в прямотоке (струйные тарелки).

Ввиду множества факторов, которые влияют на ректификацию, существуют различные классификации аппаратов для проведения данного процесса.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						19
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Так колонны можно классифицировать в зависимости от технологического назначения, давления при котором эксплуатируется аппарат и от внутреннего устройства, обеспечивающего контакт между паром и жидкостью.

По технологическому назначению ректификационные аппараты подразделяются на колонны атмосферно-вакуумных установок, термического и каталитического крекингов, вторичной перегонки нефтепродуктов, а также для ректификации газов, стабилизации легких нефтяных фракций и т.д.

Современные ректификационные аппараты должны соответствовать определенным требованиям. Вследствие этого они должны иметь:

- высокую разделительную способность и производительность;
- достаточную надежность и гибкость в работе;
- низкие эксплуатационные расходы;
- небольшой вес и простоту конструкции, а также ее техничность, что в значительной мере влияет на величину, эксплуатационных расходов, обеспечивая легкость и удобство изготовления аппарата, монтажа и демонтажа, ремонта, контроля, испытания, и пр.

Все ректификационные установки, независимо от типа и конструкции колонн, классифицируют по периодичности.

В ректификационных установках периодического действия начальную смесь заливают в перегонный куб, в котором поддерживается непрерывное кипение с образованием паров. Они поступают на укрепление в колонну, орошаемую малой частью дистиллята, большая его часть из дефлегматора или концевого холодильника, охлажденная до определенной температуры, поступает в сборник готового продукта.

В таких колоннах ректификацию проводят до тех пор, пока жидкость в кубе не достигает заданного состава. Затем обогрев куба прекращают, остаток сливают в сборник, а в куб вновь загружают на перегонку начальную смесь. Установки периодической ректификации успешно применяют для разделения небольших количеств смесей.

Главными недостатками колонн работающих периодически являются ухуд-

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						20
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

шение качества дистиллята, а также потери тепла при разгрузке и загрузке куба. Данные недостатки устраняются при непрерывной ректификации.

Колонны непрерывного действия состоят из нижней (исчерпывающей) части, в которой происходит удаление легколетучего компонента из стекающей вниз жидкости, и верхней (укрепляющей) части, назначение которой – обогащение поднимающихся паров легколетучего компонента.

Отличительными свойствами установки непрерывного действия являются непрерывный подвод сырья с постоянной скоростью подачи; готовый продукт отводится непрерывно с неизменной чистотой [17].

Ректификационный аппарат состоит из верхней и нижней части, каждая из которых представляет собой организованную поверхность контакта фаз между паром и жидкостью.

В нижней части исходная смесь взаимодействует с парами, начальный состав которых равен составу кубового остатка. Вследствие этого из смеси извлекается низкокипящий компонент.

В верхней ступени пар начального состава, соответствующий составу исходной смеси, взаимодействует с жидкостью, начальный состав которой равен составу дистиллята. Вследствие этого высококипящий компонент извлекается из паровой фазы.

В ректификационном аппарате снизу вверх движутся пары, а сверху вниз жидкость. При контактировании поднимающихся паров со стекающей жидкостью происходит частичная конденсация паров и частичное испарение жидкости. При этом из паров конденсируется преимущественно ВКК, а из жидкости испаряется преимущественно НКК.

Таким образом, стекающая жидкость обогащается ВКК, а поднимающиеся пары обогащаются НКК. Эти пары поступают в конденсатор, называемый дефлегматором, и конденсируются. Флегма, возвращается на орошение аппарата, дистиллят отводится с установки.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						21
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Характеристика сырья и готовой продукции

На ГПЗ осуществляется глубокая осушка от влаги и очистка газа от H_2S , меркаптановой серы, CS_2 , CO_2 , COS , выделение из газа тяжёлых углеводородов, очистка и стабилизация углеводородного конденсата и выделение ШФЛУ и газового бензина из конденсата.

Сероводород в дальнейшем используется для производства серы, а меркаптаны для производства одорантов [17].

Сырьём установки разделения ПГ – является газ, осушенный и очищенный от кислых примесей. Содержание примесей в газе после осушки и очистки следующее: сероводород – не более $0,5 \text{ мг/м}^3$; диоксид углерода – не более 1 % (промиля); влажность – точка росы газа не выше – $70 \text{ }^\circ\text{C}$; содержанию азота – не более 0,9 % об.

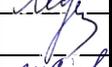
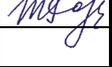
Основные виды продукции.

В настоящее время основными видами продукции ГПЗ Российской Федерации являются природный газ, подаваемый в газотранспортную систему, сжиженные углеводородные газы (СУГ), широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ), этановая фракция, стабильный конденсат, продукты его переработки и др.

СУГ используют:

– в качестве альтернативного источника газоснабжения и газификации удаленных от магистральных газопроводов населенных пунктов и промышленных объектов, а также регионов с ограниченными или слишком дорогими местными энергоресурсами (доставляются железнодорожным, автомобильным, речным или морским транспортом);

– в качестве газомоторного топлива;

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Медведева А.Н.</i>			<i>Модернизация установки дезанизации</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Лескова С.А.</i>				<i>У</i>	<i>22</i>	<i>76</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АМГУ ИФФ зр. 618-0б</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

- для потребления в жилищно-коммунальном хозяйстве;
- в нефтехимической промышленности в качестве сырья и др.

Марки сжиженных газов по ГОСТ Р 52087-2003 [18]: ПТ – пропан технический; ПА – пропан автомобильный; ПБА – пропан-бутан автомобильный; ПБТ – пропан-бутан технический; БТ – бутан технический.

Показатели качества ШФЛУ должны соответствовать ТУ 38.101524-2015 [19] (также могут быть использованы ТУ 0272-084- 0151638-2011 [20]).

Этановая фракция представляет собой ценное сырье для нефтехимии. Используется для производства этилена, из которого, в свою очередь, получают этиловый спирт, глицерин, этиленгликоль, дихлорэтан, полиэтилен и т.д. При дальнейшей переработке перечисленных веществ получают лаки, растворители, красители, моющие вещества и другую химическую продукцию высокой степени передела. По физико-химическим показателям этановая фракция должна соответствовать требованиям ТУ 0272-022-00151638-99 [21].

По содержанию хлористых солей, сернистых соединений конденсат газовый стабильный (КГС) подразделяют на группы. В условном обозначении КГС указывают его группу в зависимости от значений концентрации хлористых солей, массовой доли сероводорода и метил- и этилмеркаптанов.

Газовый бензин применяется в качестве сырья в нефтехимии, на заводах органического синтеза, а также для компаундирования автомобильного бензина (получения бензина с заданными свойствами путем его смешивания с другими бензинами). Газовый стабильный бензин должен соответствовать ТУ 0272- 003-00135817-2000 [22].

2.2 Описание технологической схемы установки

Технологическая схема установки представлена на рисунке 1.

Сырье (углеводородный конденсат) с установки низкотемпературного разделения, поступает в трубное пространство теплообменника Т-1, где нагревается до температуры 50 °С – 60 °С за счет тепла кубового продукта колонны деэтанзации, проходящего по межтрубному пространству. Далее сырье подается в

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						23
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

питательную зону колонны К, где осуществляется процесс ректификации за счет массообмена на специальных устройствах – тарелках.

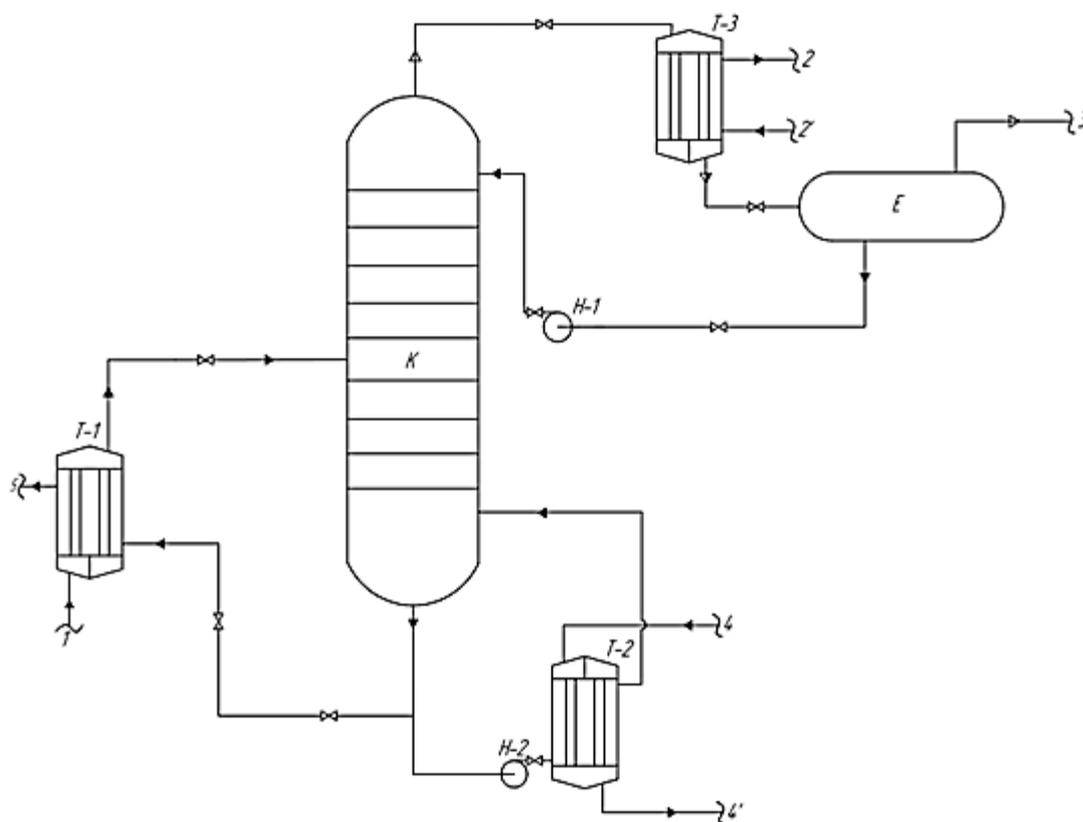


Рисунок 1 – Технологическая схема установки деэтанализации:

К – колонна деэтанализации; Т-1, 2, 3 – теплообменные аппараты;
 Е – емкость; Н-1, 2 – насосы; 1 – сырьевой поток; 2 – аммиак; 3 – этановая фракция; 4 – пар низкого давления; 5 - стабильный конденсат

В колонне происходит разделение смеси на легкокипящий (этановая фракция) и высококипящий (ШФЛУ) компоненты. В ходе процесса этановая фракция отводится с верха колонны, а ШФЛУ с куба колонны.

Парогазовая смесь отводится с верха колонны и поступает в емкость, предварительно охладившись в теплообменнике Т-3, за счет жидкого аммиака. В емкости происходит разделение газожидкостной системы на конденсат и газ. Конденсат подается в колонну в качестве орошения, и за счет этого температура верха колонны поддерживается в пределах 15 °С – 30 °С. Газ (этановая фракция) поступает на газораспределительные устройства и далее потребителю.

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Продукт с куба колонны отводится и разделяется на два потока. Первый поток проходит теплообменник Т-2, где нагревается за счет тепла острого водяного пара, и насосом Н-2 подается обратно в куб колонны для поддержания температурного режима. Второй поток отводится с установки, предварительно отдав свое тепло сырьевому потоку в теплообменнике Т-1.

2.3 Материальный баланс колонны

Колонна дезтанизации по периодичности действия является непрерывной. Рассчитаем материальный баланс колонны с производительностью по сырью 34000 кг/ч. Состав сырья, ШФЛУ и этановой фракции приведены в таблицах 2.1-2.3.

Таблица 2.1 – Состав поступающего сырья

Компонент	Молекулярная масса	Массовая доля, %	Массовая доля	Количество вещества	Мольная доля
CH ₄	16	0,33	0,0033	0,0206	0,0101
C ₂ H ₄	30	10,80	0,1080	0,3600	0,1755
C ₃ H ₈	44	36,77	0,3677	0,8357	0,4073
iC ₄ H ₁₀	58	10,90	0,1090	0,1879	0,0916
nC ₄ H ₁₀	58	25,03	0,2503	0,4316	0,2103
iC ₅ H ₁₂	72	6,45	0,0645	0,0896	0,0437
nC ₅ H ₁₂	72	5,94	0,0594	0,0825	0,0402
C ₆ H ₁₄	86	3,78	0,0378	0,0440	0,0214
Σ	-	100,00	1,0000	2,0518	1,0000

Таблица 2.2 – Состав выходящего ШФЛУ

Компонент	Молекулярная масса	Массовая доля, %	Массовая доля	Количество вещества	Мольная доля
CH ₄	16	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
C ₂ H ₄	30	3,00	0,0300	0,1000	0,0542
C ₃ H ₈	44	35,00	0,3500	0,7955	0,4307
iC ₄ H ₁₀	58	14,00	0,1400	0,2414	0,1307
nC ₄ H ₁₀	58	23,00	0,2300	0,3966	0,2147
iC ₅ H ₁₂	72	5,00	0,0500	0,0694	0,0376
nC ₅ H ₁₂	72	5,00	0,0500	0,0694	0,0376
C ₆ H ₁₄	86	15,00	0,1500	0,1744	0,0944
Σ	-	100,00	1,0000	1,8467	1,0000

Таблица 2.3 – Состав выходящей этановой фракции

Компонент	Молекулярная масса	Массовая доля, %	Массовая доля	Количество вещества	Мольная доля
CH ₄	16	12,00	0,1200	0,7500	0,2181
C ₂ H ₄	30	65,00	0,6500	2,1667	0,6301
C ₃ H ₈	44	22,90	0,2290	0,5205	0,1513
iC ₄ H ₁₀	58	0,10	0,0010	0,0017	0,0005
nC ₄ H ₁₀	58	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
iC ₅ H ₁₂	72	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
nC ₅ H ₁₂	72	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
C ₆ H ₁₄	86	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
Σ	-	100,00	1,0000	3,4388	1,0000

Расчет состава сырья

Примем условие, что содержание пропана C₃H₈ в дистилляте должно быть не выше 25 % по массе, а этана в остатке не больше 3 % по массе. Рассчитаем часовой расход каждого компонента в колонну. Сведем полученные данные в таблицу 2.4. Средняя молекулярная масса сырья определяется по формуле [23]:

$$M_{\text{ср}} = \sum M_i \cdot \chi'_i \quad (2.1)$$

где M_i – молекулярная масса i -го компонента;

χ'_i – состав сырья в мольных долях.

Состав сырья в массовых долях определяется по формуле:

$$\chi_i = \frac{M_i \cdot \chi'_i}{\sum M_i \cdot \chi'_i} \quad (2.2)$$

Таблица 2.4 – Расчетный состав сырья

Компонент сырья	Молекулярная масса M_i	Мольная доля χ'_i	$M_i \cdot \chi'_i$	Массовая доля c_i	Расход сырья	
					кг/ч	кмоль/ч
1	2	3	4	5	6	7
CH ₄	16	0,0101	0,1608	0,0033	112,20	7,01
C ₂ H ₄	30	0,1755	5,2636	0,1080	3672,00	122,40
C ₃ H ₈	44	0,4073	17,9206	0,3677	12501,80	284,13

1	2	3	4	5	6	7
iC ₄ H ₁₀	58	0,0916	5,3123	0,1090	3706,00	63,90
nC ₄ H ₁₀	58	0,2103	12,1989	0,2503	8510,20	146,73
iC ₅ H ₁₂	72	0,0437	3,1435	0,0645	2193,00	30,46
nC ₅ H ₁₂	72	0,0402	2,8950	0,0594	2019,60	28,05
C ₆ H ₁₄	86	0,0214	1,8423	0,0378	1285,20	14,94
Σ	-	1,0000	48,7371	1,0000	34000,00	697,62

Расчет количества и состава дистиллята и остатка

Для удобства расчет проведем для 100 кмоль сырья. Составы выражены в мольных долях.

Ввиду незначительного допустимого содержания CH₄ в остатке, пренебрегаем им. Содержание C₂H₆ в остатке в соответствии с регламентом установки не должно превышать 3 % весовых или 0,0542 массовых долей в остатке, а содержание C₃H₈ должно быть не выше 25 % весовых или 0,1513 массовых долей в дистилляте. Содержанием компонентов iC₄H₁₀, nC₄H₁₀, iC₅H₁₂, nC₅H₁₂, C₆H₁₄ в дистилляте пренебрегаем ввиду их отсутствия.

Принимаем, что: $x'_{R_1} = 0$; $y'_{D_4} = 0$; $y'_{D_5} = 0$; $y'_{D_6} = 0$; $y'_{D_7} = 0$; $y'_{D_8} = 0$

где x'_i , y'_i – мольные доли компонентов в жидкости и парах соответственно;

R, D, G – индексы относящиеся к остатку, дистилляту и сырью соответственно;

1, 2, ..., 8 – индексы, указывающие на CH₄, C₂H₄, C₃H₈, iC₄H₁₀, nC₄H₁₀, C₅H₁₂, nC₅H₁₂, C₆H₁₄, соответственно.

Определение материального баланса

Уравнение материального баланса для всей колонны по общему количеству молей потоков и по каждому компоненту:

$$G = D + R \quad (2.3)$$

$$G \cdot \chi'_i = D \cdot y'_{D_i} + R \cdot x'_{R_i} \quad (2.4)$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Подставив в формулу (2.4) известные величины, исключив R и суммируя уравнения, получим:

$$81,45 = D \cdot 0,1513 + (100 - D) \cdot x'_{R_3} + \dots + x'_{R_8} \quad (2.5)$$

Однако, по условию разделения известно, что

$$x'_{R_2} + x'_{R_3} + x'_{R_4} + x'_{R_5} + x'_{R_6} + x'_{R_7} + x'_{R_8} = 1$$

Из условия известно $x'_{R_2} = 0,0542$, поэтому

$$81,45 = D \cdot 0,1513 + 94,58 - 0,9458 \cdot D$$

$$D = \frac{13,13}{0,7945} = 16,52 \text{ кмоль на } 100 \text{ кмоль сырья}$$

$$R = 100 - D = 100 - 16,52 = 83,48 \text{ кмоль на } 100 \text{ кмоль сырья}$$

Найдем мольные доли компонентов в жидкости и парах. Данные о составах и количествах дистиллята и остатка сведем в таблицу 2.5.

Рассчитаем мольную долю для первого компонента, для остальных найдем аналогично:

$$100 \cdot 0,0101 = 16,52 \cdot y'_{D_1} + (100 - 16,52)$$

$$y'_{D_1} = 0,0608$$

Таблица 2.5 – Материальный баланс ректификационной колонны

Компонент	Сырье, кмоль	Дистиллят D		Остаток R	
		$D \cdot x'_{D_i}$, кмоль	$y'_{D_i} = x'_{D_i}$	$R \cdot x'_{R_i}$, кмоль	x'_{R_i}
1	2	3	4	5	6
CH ₄	1,01	1,01	0,0608	-	-
C ₂ H ₄	17,55	13,02	0,7882	4,52	0,0542
C ₃ H ₈	40,73	2,50	0,1513	38,23	0,4579
iC ₄ H ₁₀	9,16	-	-	9,16	0,1097
nC ₄ H ₁₀	21,03	-	-	21,03	0,2519
iC ₅ H ₁₂	4,37	-	-	4,37	0,0523

1	2	3	4	5	6
nC ₅ H ₁₂	4,02	-	-	4,02	0,0482
C ₆ H ₁₄	2,14	-	-	2,14	0,0257
Σ	100,00	16,53	1,0003	83,47	0,9999

2.4 Технологический расчет деэтанатора

2.4.1 Расчет ректификационной колонны

Определение давления в колонне

Технологический режим емкости орошения соответствует следующим параметрам: $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $T = 283 \text{ K}$, $\pi = 28 \text{ кгс/см}^2 = 2,8 \text{ МПа}$.

Проверим равенство уравнения фаз:

$$\sum_1^3 k_i \cdot x'_{D_i} = 1 \quad (2.6)$$

где k_i – константа фазового равновесия.

Константы фазового равновесия определяем при температуре 283К и давлении $\pi_0 = 2,8 \text{ МПа}$ по монограмме [24]. Данные сведем в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 – Константы фазового равновесия дистиллята при $T = 283 \text{ K}$, $\pi = 2,8 \text{ МПа}$

Компоненты	k_i	$y'_{D_i} = x'_{D_i}$	$k_i \cdot x'_{D_i}$
CH ₄	5,00	0,0608	0,304
C ₂ H ₆	0,83	0,7882	0,654
C ₃ H ₈	0,29	0,1513	0,044
Σ	-	1,0003	1,002

С учетом гидравлических потерь в трубопроводе от колонны до емкости орошения, давление на верху колонны принимаем на $0,02 \cdot 10^6 \text{ Па}$ больше давления π_0 .

$$\pi_D = \pi_0 + 0,02 \cdot 10^6 = 2,8 \cdot 10^6 + 0,02 \cdot 10^6 = 2,82 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,82 \text{ МПа}$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		29

Определение температуры верха колонны

Температуру верха колонны T_D определим методом постепенного приближения по уравнению равновесия фаз:

$$\sum_1^3 \frac{y'_{D_i}}{k_i} = 1 \quad (2.7)$$

путем подбора такого ее значения, при котором константы фазового равновесия k_i для давления 2,82 МПа, будучи подставлены в уравнение (2.7), превращают его в тождество. Такая температура $T_D = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$. Полученные данные сведены в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Константы фазового равновесия дистиллята при $T = 298 \text{ K}$, $\pi = 2,82 \text{ МПа}$

Компоненты	k_i	$y'_{D_i} = x'_{D_i}$	$\frac{y'_{D_i}}{k_i}$
CH ₄	5,6	0,0608	0,0109
C ₂ H ₆	1,26	0,7882	0,6255
C ₃ H ₈	0,42	0,1513	0,3602
Σ	-	1,0003	0,9966

Определение давления низа колонны

Учитывая гидравлическое сопротивление тарелок, принимаем давление низа колонны на $0,04 \cdot 10^6 \text{ Па}$ больше давления π_D , т.е.

$$\pi_R = \pi_D + 0,04 \cdot 10^6 = 2,82 \cdot 10^6 + 0,04 \cdot 10^6 = 2,86 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2,86 \text{ Мпа}$$

Определение температуры низа колонны

Температуру T_R низа колонны определяем методом постепенного приближения по уравнению равновесия фаз:

$$\sum_7^8 k_i \cdot x'_{R_i} = 1 \quad (2.8)$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

путем подбора такого ее значения, при котором константы фазового равновесия k_i для давления $\pi_R = 2,86 \cdot 10^6$ Па, будучи подставлены в уравнение (2.14), превращают его в тождество. Такая температура равна $T_R = 94$ °С. Расчет сведен в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 – Константы фазового равновесия остатка при $T = 367$ К, $\pi = 2,86$ МПа

Компоненты	k_i	$y'_{D_i} = x'_{D_i}$	$k_i \cdot x'_{D_i}$
C ₂ H ₆	2,9	0,0542	0,1572
C ₃ H ₈	1,32	0,4579	0,6045
iC ₄ H ₁₀	0,68	0,1097	0,0944
nC ₄ H ₁₀	0,54	0,2519	0,1361
iC ₅ H ₁₂	0,27	0,0523	0,0141
nC ₅ H ₁₂	0,23	0,0482	0,0111
C ₆ H ₁₄	0,125	0,0257	0,0032
Σ	-	0,9999	1,0205

Расчет коэффициентов относительной летучести

При известных для разных уровней колонны давлениях и температурах рассчитаем коэффициенты относительной летучести компонентов.

За эталонный компонент, т.е. компонент с относительной летучестью, равный единице, примем нормальный бутан, пятый компонент исходной системы.

Давление в питательной секции колонны – среднеарифметическое между π_D и π_R :

$$\pi_f = \frac{\pi_D + \pi_R}{2} = \frac{2,82 \cdot 10^6 + 2,86 \cdot 10^6}{2} = 2,84 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Коэффициент относительной летучести для любого компонента вычисляется по следующей формуле:

$$a_i = \frac{k_i}{k_4} \quad (2.9)$$

где k_i – коэффициент фазового равновесия i -го компонента;

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						31

Трегубова по формулам:

$$\sum_1^8 x'_i = \sum_1^8 \frac{\chi'_i}{1 + e'(k_i - 1)} = 1 \quad (2.12)$$

$$\sum_1^8 y'_i = \sum_1^8 k_i \cdot x'_i = 1 \quad (2.13)$$

Путем подбора такого значения e' , при котором удовлетворяются эти равенства. При подборе мольной доли отгона, самым оптимальным значением e' , которое удовлетворяет приближенно обоим равенствам, является $e' = 0,11$. Результаты внесем в таблицу 2.10.

Таблица 2.10 – Доля отгона

Компоненты сырья	Состав сырья c'_i	k_i	$1 + e'(k_i - 1)$	$x'_i = \frac{\chi'_i}{1 + e'(k_i - 1)}$	$y'_i = k_i \cdot x'_i$
СН ₄	0,0101	7	1,6600	0,0061	0,0424
С ₂ Н ₄	0,1755	2	1,1100	0,1581	0,3161
С ₃ Н ₈	0,4073	0,8	0,9780	0,4164	0,3332
iС ₄ Н ₁₀	0,0916	0,41	0,9351	0,0979	0,0402
nС ₄ Н ₁₀	0,2103	0,29	0,9219	0,2281	0,0662
iС ₅ Н ₁₂	0,0437	0,14	0,9054	0,0482	0,0068
nС ₅ Н ₁₂	0,0402	0,125	0,9038	0,0445	0,0056
С ₆ Н ₁₄	0,0214	0,05	0,8955	0,0239	0,0012
Σ	1,0000	-	-	1,0233 ≈ 1	0,8115 ≈ 1

Расчет режима полного орошения

Известно, что одним из предельных, теоретически возможных, случаев работы колонны является режим полного (бесконечно большого) орошения колонны, при котором последняя будет иметь минимальное число теоритических тарелок

Как показывают расчеты, для разделения исходной смеси на продукты примерно одного и того же состава в условиях оптимального режима рабочего орошения требуется приблизительно вдвое больше теоритических тарелок, чем при полном орошении [24].

Расчет режима полного орошения состоит в определении количества и составов верхнего и нижнего продуктов колонны на основе заданных условий разделения.

В нашем случае условия разделения заданы содержанием C_3H_8 в дистилляте и содержанием C_2H_6 в остатке. Число степеней проектирования f находим по формуле:

$$f = Z + 2 \quad (2.14)$$

где Z – число нулевых концентраций компонентов в продуктах разделения.

В данном случае $Z = 0$ – нулевых концентраций не задано, поэтому $f = 2$. Это означает, что для расчета режима полного орошения должны быть заданы какие – либо две концентрации: $y'_{D_3} \geq 0,1513$ и $x'_{R_2} \leq 0,0542$, следовательно, задача полностью определена. Определим составы верхнего и нижнего продуктов колонны по всем компонентам исходной системы, согласно соотношениям Багатурова. В расчетах коэффициенты относительной летучести компонентов возьмем при $T_f = 56 \text{ }^\circ\text{C}$ (329 К) и $\pi_f = 2,84$ МПа. По составу сырья (таблица 2.4) и условиям его разделения нетрудно установить, что в дистилляте колонны основным по содержанию компонентом является C_2H_6 . Так как мольная доля этана в дистилляте $y'_{D_2} = 0,7882$ (таблица 2.5), то из уравнения материального баланса всей колонны по этану будем иметь:

$$\frac{D}{G} = \frac{x'_2 - x'_{R_2}}{y'_{D_2} - x'_{R_2}} \quad (2.15)$$

$$\frac{D}{G} = \frac{0,1755 - 0,0542}{0,7882 - 0,0542} = 0,1653$$

$$\frac{R}{G} = 1 - \frac{D}{G} \quad (2.16)$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\frac{R}{G} = 1 - 0,1653 = 0,8347$$

$$\frac{G}{R} = \frac{1}{0,8347} = 1,1980$$

Из уравнения материального баланса всей колонны по пропану:

$$\frac{G}{R} = \frac{y'_{D_3} - \chi'_3}{y'_{D_3} - x'_{R_3}} \quad (2.17)$$

Отсюда выразим:

$$\begin{aligned} x'_{R_3} &= y'_{D_3} - \frac{G}{R} \cdot (y'_{D_3} - \chi'_3) = 0,1513 - 1,198 \cdot (0,1513 - 0,4073) = \\ &= 0,4580 \end{aligned}$$

По мольным долям C_2H_6 и C_3H_8 в остатке и дистилляте, с помощью уравнения Фенксе – Андервуда определим минимальное число теоретических тарелок в колонне:

$$N = \frac{\lg \frac{y'_{D_2} \cdot x'_{R_3}}{x'_{R_2} \cdot y'_{D_3}}}{\lg \frac{a_2}{a_3}} \quad (2.18)$$

$$N = \frac{\lg \frac{0,7882 \cdot 0,4580}{0,0542 \cdot 0,1513}}{\lg \frac{6,9}{2,76}} = 4,13 \text{ тарелки}$$

Состав x'_{R_4} определим по уравнению [24]:

$$\frac{\chi'_2}{x'_{R_2}} \cdot (a_4^N - a_3^N) + \frac{\chi'_3}{x'_{R_3}} \cdot (a_2^N - a_4^N) + \frac{\chi'_4}{x'_{R_4}} \cdot (a_3^N - a_2^N) = 0 \quad (2.19)$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\frac{0,1755}{0,0542} \cdot (1,41^{4,13} - 2,76^{4,13}) + \frac{0,4073}{0,4580} \cdot (6,9^{4,13} - 1,41^{4,13}) + \frac{0,0916}{x'_{R_4}} \cdot (2,76^{4,13} - 6,9^{4,13}) = 0$$

Отсюда $x'_{R_4} = 0,0768$

Остальные компоненты найдем аналогично уравнению (2.19).

$x'_{R_5} = 0,2527$, состав нормального бутана (nC_4H_{10}) определили по компонентам C_3H_8 и iC_4H_{10} .

$x'_{R_6} = 0,0525$, состав изопентана (iC_5H_{12}) определили по компонентам C_3H_8 и iC_4H_{10} .

$x'_{R_7} = 0,0483$, состав нормального пентана (nC_5H_{12}) определили по компонентам iC_5H_{12} и nC_4H_{10} .

$x'_{R_8} = 0,0257$, состав гексана (C_6H_{14}) определили по следующему уравнению, по компонентам iC_5H_{12} и nC_4H_{10} .

$x'_{R_1} = 2,38 \cdot 10^{-5}$, состав x'_{R_1} – метана CH_4 определим по следующему уравнению, по компонентам iC_4H_{10} и C_3H_8 . Очевидно, что величина x'_{R_1} мала, и без всякого ущерба для точности расчета можно принять $x'_{R_1} = 0$.

Выполним проверку $\sum_1^8 x'_{R_i} = 1$:

$$\sum_1^8 x'_{R_i} = 0 + 0,0542 + 0,4580 + 0,1093 + 0,2527 + 0,0525 + 0,0483 + 0,0257 = 1,0007 \approx 1$$

Содержание y'_{D_i} каждого из компонентов исходной системы в дистилляте определяем по уравнению Багатурова, которое записывается по любым трем компонентам исходной системы. $y'_{D_3} = 0,1513$.

Для определения y'_{D_1} запишем уравнение по CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 :

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\frac{\chi'_1}{y'_{D_1}} \cdot (a_3^{-N} - a_2^{-N}) + \frac{\chi'_2}{y'_{D_2}} \cdot (a_1^{-N} - a_3^{-N}) + \frac{\chi'_3}{y'_{D_3}} \cdot (a_2^{-N} - a_1^{-N}) = 0 \quad (2.20)$$

$$\frac{0,0101}{y'_{D_1}} \cdot (2,76^{-4,13} - 6,9^{-4,13}) + \frac{0,1755}{0,7882} \cdot (24,14^{-4,13} - 2,76^{-4,13}) + \\ + \frac{0,4073}{0,1513} \cdot (6,9^{-4,13} - 24,14^{-4,13}) = 0$$

Отсюда $y'_{D_1} = 0,0610$

$y'_{D_4} = 6,6 \cdot 10^{-5}$, состав определили по компонентам CH_4 , C_2H_6 , iC_4H_{10} .

Это малая величина, что без всякого ущерба для точности расчета можно принять $y'_{D_4} = 0$.

Дальнейший расчет компонентов до y'_{D_8} – гексана будет иметь такой же результат, поэтому принимаем: $y'_{D_4} = y'_{D_5} = y'_{D_6} = y'_{D_7} = y'_{D_8} = 0$.

Выполним проверку $\sum_1^8 y'_{D_i} = 1$:

$$\sum_1^8 y'_{D_i} = 0,0610 + 0,7882 + 0,1513 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 1,0005$$

Проверка по составам остатка и дистиллята выдерживается с достаточной точностью, а значит, составом $y'_{D_3} = 0,1513$ мы задались правильно и верно определили минимальное число теоретических тарелок при режиме полного орошения колонны.

Режим минимального орошения

Режим минимального орошения является вторым из предельных, теоретически возможных, при котором число теоретических тарелок в колонне равно бесконечности.

Как и при расчете колонны для разделения бинарной смеси, для многокомпонентной смеси необходимо определить минимально флегмовое число

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

или минимальное паровое число.

Определение минимального флегмового числа r_{min} для укрепляющей части колонны будем вести методом постепенного приближения, зная состав исходного сырья (таблица 2.4), мольную долю отгона верхнего и нижнего продуктов колонны (таблица 2.5), по уравнению Андервуда [23]:

$$\sum_i^n \frac{a_i \cdot \chi_i'}{a_i - \varphi} = e' \quad (2.21)$$

Методом подбора находим параметр φ , беря значения a_i для компонентов системы при средней температуре в колонне $T_f = 56 \text{ }^\circ\text{C}$, $e' = 0,11$.

Зададимся значением $\varphi = 1,164$. Данные сведем в таблицу 2.11.

Таблица 2.11 – Данные для определения минимального орошения

Компоненты сырья	c'_i	a_i	$a_i \cdot c'_i$	$a_i - \varphi$	$\frac{a_i \cdot c'_i}{a_i - \varphi}$
CH ₄	0,0101	24,14	0,2438	22,976	0,0106
C ₂ H ₄	0,1755	6,90	1,2110	5,736	0,2111
C ₃ H ₈	0,4073	2,76	1,1241	1,596	0,7044
iC ₄ H ₁₀	0,0916	1,41	0,1292	0,246	0,5250
nC ₄ H ₁₀	0,2103	1,00	0,2103	-0,164	-1,2823
iC ₅ H ₁₂	0,0437	0,48	0,0210	-0,684	-0,0307
nC ₅ H ₁₂	0,0402	0,43	0,0173	-0,734	-0,0236
C ₆ H ₁₄	0,0214	0,17	0,0036	-0,994	-0,0037
Σ	1,0000	-	-	-	0,11

Из таблицы 2.11 видно, что при $\varphi = 1,164$ уравнение Андервуда удовлетворяется с достаточной точностью, поэтому найденный параметр φ далее используем для определения r_{min} .

Минимальное флегмовое число для укрепляющей части колонны рассчитаем по уравнению Андервуда [23]:

$$r_{min} = \sum_i^n \frac{\varphi \cdot y'_{Di}}{a_i - \varphi} \quad (2.22)$$

где $V_{\text{сек}}$ – наибольший секундный объем паров, проходящих через сечение колонны;

ω – допускаемая скорость паров в полном (свободном) сечении колонны.

Определим $V_{\text{сек}}$.

Количество паров на верху (под верхней укрепляющей тарелкой) определяется по формуле:

$$V_2 = g_1 + D \quad (2.27)$$

где g_1 – количество флегмы;

D – количество дистиллята.

Количество дистиллята было рассчитано в п. 2.3 и равно 16,52 кмоль. Количество флегмы принимаем равной 23 кмоль на 100 кмоль сырья, на основании производственных данных.

$$V_2 = 23 + 16,52 = 39,52 \text{ кмоль на } 100 \text{ кмоль сырья}$$

На основании производственных данных принимаем количества паров в следующих сечениях колонны: под нижней укрепляющей тарелкой $V_m = 27,22$ кмоль на 100 кмоль сырья; над верхней отгонной тарелкой $V_n = 16,22$ кмоль на 100 кмоль сырья, внизу колонны (под нижней тарелкой) $V_R = 8,1$ кмоль на 100 кмоль сырья.

Из принятых данных видно, что наиболее нагруженным по парам, является верхнее сечение колонны. Объем паров на верху колонны определим по формуле [23]:

$$V_{\text{сек}} = \frac{22,4 \cdot G_B \cdot T_2 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot Z}{3600 \cdot 273 \cdot \pi_D} \quad (2.28)$$

где G_B – часовое количество паров на верху колонны;

Z – коэффициент сжимаемости.

Часовое количество паров на верху колонны определим по формуле:

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$G_B = \frac{V_2 \cdot G_{\text{час}}}{100 \cdot M_{\text{ср}}} \quad (2.29)$$

где $G_{\text{час}}$ – производительность колонны по сырью, кг/ч;

$M_{\text{ср}}$ – средняя молекулярная масса сырья (таблица 2.4).

$$G_B = \frac{39,52 \cdot 34000}{100 \cdot 48,74} = 275,68 \text{ кмоль/ч}$$

При определении объема паров, ввиду повышенного давления ($\pi_D = 2,82$ МПа), введен коэффициент сжимаемости Z . Из расчетов видно, что пары на верху колонны практически полностью состоят из компонента – этана. Поэтому коэффициент сжимаемости для них можно найти как для паров чистого этана. Критическая температура этана $T_{\text{кр.}} = 305,4$ К, критическое давление $\pi_{\text{кр.}} = 4,95$ МПа, температуру паров этана принимаем равной $T_2 = 308$ К (35 °С) [25].

Приведенную температуру рассчитаем по формуле:

$$T_{\text{пр}} = \frac{T_2}{T_{\text{кр}}} \quad (2.30)$$

$$T_{\text{пр}} = \frac{308}{305,4} = 1,01$$

Приведенное давление рассчитаем по формуле:

$$\pi_{\text{пр}} = \frac{\pi_D}{P_{\text{кр}}} \quad (2.31)$$

$$\pi_{\text{пр}} = \frac{2,82}{4,95} = 0,57$$

По графику находим коэффициент сжимаемости $Z = 0,8$ [20],

$$V_{\text{сек}} = \frac{22,4 \cdot 275,68 \cdot 308 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 0,8}{3600 \cdot 273 \cdot 2,82 \cdot 10^6} = 0,055 \text{ м}^3/\text{с}$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

В связи с тем, что дистиллят колонны в основном состоит из этана, найдем плотности его в жидком и парообразном состоянии при температуре и давлении на верху колонны: $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $\pi_D = 2,82 \text{ МПа}$.

Плотность этана $\rho_{\text{этана}} = 1,356 \text{ кг/м}^3$

$$\rho_{\text{пар}}^B = \frac{D \cdot (r + 1)}{3600 \cdot V_{\text{сек}}^B} = \frac{G_B}{3600 \cdot V_{\text{сек}}^B} \quad (2.32)$$

$$\rho_{\text{пар}}^B = \frac{275,68}{3600 \cdot 0,055} = 1,295 \text{ кг/м}^3$$

Определим часовое количество паров внизу колонны G_H :

$$G_H = \frac{(V_R + R) \cdot G_H}{100 \cdot M_{\text{ср}}} \quad (2.33)$$

где R – количество остатка;

G_H – производительность установки.

Количество остатка было рассчитано в п. 2.3 и равно 83,48 кмоль.

$$G_H = \frac{(8,1 + 83,48) \cdot 34000}{100 \cdot 48,74} = 638,84 \text{ кмоль/час}$$

Объем паров внизу колонны рассчитаем по формуле (2.28). Предварительно определим коэффициент сжимаемости Z . Пары внизу колонны в основном состоят из пропана: $T_{\text{кр}} = 370 \text{ К}$, критическое давление – $\pi_{\text{кр}} = 4,32 \text{ МПа}$, температуру паров пропана принимаем равной $T_1 = 357 \text{ К}$ ($84 \text{ }^\circ\text{C}$) [25].

Приведенную температуру пропана определим по формуле (2.30):

$$T_{\text{пр}} = \frac{357}{370} = 0,96$$

Приведенное давление пропана вычислим по формуле (2.31). Давление в низу колонны $\pi_R = 2,86 \text{ МПа}$:

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						42
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

По формуле (2.26) определим внутренний диаметр колонны.

$$D_{\text{в}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,055}{3,14 \cdot 0,01}} = 2 \text{ м}$$

$$D_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,127}{3,14 \cdot 0,04}} = 1,9 \text{ м}$$

Принимаем диаметр колонны равным $D = 2 \text{ м}$.

Определение высоты колонны

В данной ректификационной колонне установлены колпачковые тарелки. КПД колпачковой тарелки принимаем равным $\eta_{\text{т}} = 0,5$, основываясь на литературных данных [23].

Графическим методом было найдено число теоретических тарелок для укрепляющей части колонны $N_{\text{т}}^y = 6$, следовательно:

$$N_{\text{п}}^y = \frac{N_{\text{т}}^y}{\eta} \tag{2.36}$$

$$N_{\text{п}}^y = \frac{6}{0,5} = 12 \text{ тарелок}$$

Для отгонной части $N_{\text{т}}^o = 6$, следовательно:

$$N_{\text{п}}^o = \frac{N_{\text{т}}^o}{\eta} \tag{2.37}$$

$$N_{\text{п}}^o = \frac{6}{0,5} = 12 \text{ тарелок}$$

Всего практических тарелок в колонне:

$$N_{\text{п}} = N_{\text{п}}^y + N_{\text{п}}^o \tag{2.38}$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$N_p = 12 + 12 = 24 \text{ тарелки}$$

Холодное (острое) орошение подается на первую (верхнюю) укрепляющую тарелку. Паровое орошение из кипятильника (испарителя) колонны подается под ее нижнюю отгонную тарелку. На основании практических данных, примем расстояние между верхним днищем колонны и ее верхней укрепляющей тарелкой $h_D = 2,2$ м. Высота питательной секции (расстояние между нижней укрепляющей и верхней отгонной тарелками) $h_G = 2$ м, расстояние между нижним днищем и нижней отгонной тарелкой $h_R = 4$ м. Тогда рабочая высота колонны будет равна:

$$N_p = h_D + (N_p^y - 1) \cdot h_T + h_G + (N_p^o - 1) \cdot h_T + h_R \quad (2.39)$$

$$N_p = 2,2 + (12 - 1) \cdot 0,6 + 2 + (12 - 1) \cdot 0,6 + 4 = 21,4 \text{ м}$$

$N_p = 21,4$ м – общая высота колонны.

2.4.2 Обоснование модернизации ректификационной колонны

Модернизация ректификационной колонны заключается в замене ректификационных тарелок. Ранее использовались тарелки колпачкового типа с низким КПД $\eta_T = 0,5$. Предложено заменить тарелки на более эффективные – решетчатые провального типа с КПД $\eta_T = 0,8$.

Проведем перерасчет высоты колонны. Определим количество практических тарелок в укрепляющей и отгонной частях деэтанизатора по формулам (2.36) и (2.37).

$$N_p^y = \frac{6}{0,8} = 7,5 \text{ тарелок, примем } 8 \text{ тарелок}$$

$$N_p^o = \frac{6}{0,8} = 7,5 \text{ тарелок, примем } 8 \text{ тарелок}$$

Общее количество практических тарелок в колонне вычислим по формуле (2.50):

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						45
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

$$N_p = 8 + 8 = 16 \text{ тарелок}$$

Из предыдущих расчетов известны: расстояние между верхним днищем колонны и ее верхней укрепляющей тарелкой $h_D = 2,2$ м., высота питательной секции $h_G = 2$ м, расстояние между нижним днищем и нижней отгонной тарелкой $h_R = 4$ м. Тогда рабочая высота колонны будет равна:

$$H_p = 2,2 + (8 - 1) \cdot 0,6 + 2 + (8 - 1) \cdot 0,6 + 4 = 16,6 \text{ м}$$

Таким образом, после модернизации высота колонны уменьшится с 21,4 м до 16,6 м. Ввиду большего КПД тарелки, производительность аппарата не изменится.

Данная модернизация позволяет снизить затраты на конструирование колонны. Также она позволит уменьшить количество обслуживающих площадок. Из производственных данных известно, что площадка устанавливается каждые 4 метра, ввиду уменьшения высоты колонны практически на 5 метров, в конструировании одной площадки нет смысла.

Кроме того, при уменьшении высоты, аппарат будет более устойчив к ветровым нагрузкам.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						46
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

3 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЛОННЫ

Механический расчет проведем для модернизированной колонны с меньшим числом тарелок.

3.1 Расчет деталей аппарата

Выбор материала

Руководствуясь принципами выбора материалов, учитывая рабочую температуру (°C) и рабочее давление (МПа), выбираем материал для аппарата по ГОСТ Р 52630-12 [27] марки Ст3сп.

Предел текучести для стали данной марки равен $\sigma_T = 245$ МПа, временное сопротивление $\sigma_B = 370-480$ Н/мм², по ГОСТ 14637-89 [28].

Расчет толщины стенки цилиндрической части аппарата

Расчет толщины стенки ректификационной колонны выполним в соответствии с ГОСТ 14249-89 [29] по формуле:

$$S = S_p + C \quad (3.1)$$

где S – принятая толщина стенки;

S_p – расчетная толщина стенки;

C – прибавка на коррозию.

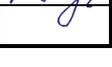
$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} \quad (3.2)$$

где P – внутреннее давление = 2,86 МПа;

D – внутренний диаметр корпуса = 2 м;

$[\sigma]$ – допустимое напряжение;

φ – коэффициент сварного шва = 1.

					ВКР.161864.180301.ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Медведева А.Н.				Лит.	Лист	Листов		
Пров.		Лескова С.А.				У	47	76		
Консульт.					Модернизация установки дезтанизации					
Н. контр.		Родина Т.А.						АМГУ ИФФ гр. 618-0б		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.								

Прибавка на коррозию принимается в пределах 1...6 мм. Для расчета возьмем $C = 3$ мм.

Расчет допускаемого напряжения

Допускаемое напряжение определим по формуле:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* \quad (3.3)$$

где η – поправочный коэффициент. Так как аппарат содержит взрывоопасную среду, коэффициент равен 0,9;

σ^* – нормативное допускаемое напряжение.

Если расчетная температура не превышает 380 °С для углеродистых сталей, 420 °С для низколегированных, 525 °С для высоколегированных, то за нормативное допускаемое напряжение σ^* принимают меньшее из двух значений:

$$\sigma^* = \frac{\sigma_T}{n_T} \quad (3.4)$$

$$\sigma^* = \frac{\sigma_B}{n_B} \quad (3.5)$$

где σ_T – предел текучести при расчетной температуре;

σ_B – предел прочности при расчетной температуре;

n_T, n_B – соответствующие коэффициенты запаса прочности: $n_T = 1,5$;
 $n_B = 2,6$.

$$\sigma^* = \frac{245}{1,5} = 163,33 \text{ МПа}$$

$$\sigma^* = \frac{480}{2,6} = 184,62 \text{ МПа}$$

Определим механические характеристики при расчетной температуре.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						48
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

$$\sigma_T = 163,33 \cdot 0,1 = 163,33 \text{ МПа} - \text{меньшее значение}$$

$$\sigma_B = 184,62 \cdot 0,985 = 181,85 \text{ МПа}$$

Полученное значение подставляем в формулу допускаемого напряжения (3.3).

$$[\sigma] = 0,9 \cdot 163,33 = 147 \text{ МПа}$$

Подставим значение допускаемого напряжения в формулу расчета толщины стенки аппарата.

$$S_p = \frac{2,86 \cdot 2}{2 \cdot 147 \cdot 1 - 2,86} = 0,20 \text{ м} = 20 \text{ мм}$$

$$S = 20 + 3 = 23 \text{ мм}$$

Из рекомендуемого сортамента листовой стали принимаем толщину стенки 24 мм. Принимаем добавку толщины стенки в зависимости от высоты колонны $\Delta S = 2$ мм. Таким образом, толщина обечайки $S = 26$ мм.

Толщина стенки днищ

Принимаем эллиптические днища и крышки, так как диаметр аппарата меньше 4 м.

Толщину стенки эллиптического днища определим в его вершине, где поверхность имеет наибольший радиус кривизны, по формуле:

$$S = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot P} + C \quad (3.6)$$

$$S = \frac{2,86 \cdot 2}{2 \cdot 147 \cdot 1 - 0,5 \cdot 2,86} + 0,003 = 0,023$$

Толщину стенки днища принимаем 24 мм, из рекомендуемого сортамента.

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Высоту борта выбираем в зависимости от толщины днища, $h = 90$ мм [22].

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

Высота эллиптической части $H = 0,25 \cdot 2 = 0,5$ м.

Высота днища: $0,5 + 0,09 = 0,59$ м.

Проведение гидравлических испытаний

Напряжение в нижней части колонны определяется по формуле:

$$\sigma = P_r \cdot \frac{D_B + (S - C)}{2 \cdot (S - C) \cdot \varphi} \leq 0,9 \sigma_t \quad (3.7)$$

где P_r – гидравлическое давление в нижней части аппарата, МПа:

$$P_r = P_{пр} + H \cdot 10^{-2} \quad (3.8)$$

где $P_{пр}$ – пробное давление, МПа;

H – высота столба воды в аппарате, м.

Из условия, что расчетное давление 0,5 МПа и более принимаем:

$$P_{пр} = 2,86 + 0,3 = 3,16 \text{ МПа.}$$

$$H = H_{ц} + H_B + H_H \quad (3.9)$$

где $H_{ц}$ – высота цилиндрической части;

H_B – высота верхнего днища;

H_H – высота нижнего днища.

$$H = 16,6 + 0,59 + 0,59 = 17,78 \text{ м}$$

$$P_r = 3,16 + 17,78 \cdot 10^{-2} = 3,34 \text{ МПа}$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\sigma = 3,34 \cdot \frac{2 + (0,026 - 0,003)}{2 \cdot (0,026 - 0,003) \cdot 1} \leq 0,9 \cdot 245$$

$$160,61 \leq 220,50 - \text{верно}$$

Следовательно, полученная величина стенки 26 мм обеспечивает прочность обечайки при гидравлическом испытании.

$$\sigma = 3,34 \cdot \frac{2 + (0,024 - 0,003)}{2 \cdot (0,024 - 0,003) \cdot 1} \leq 0,9 \cdot 245$$

$$146,79 \leq 220,50 - \text{верно}$$

Следовательно, прочность днища обеспечивается при гидравлическом испытании с толщиной стенки 24 мм.

3.2 Расчет аппарата на действие ветровых сил

Форма и основные размеры опор

Высоту обечайки опоры выбираем равную 2000 мм с учетом требований технологии и условия эксплуатации так, чтобы она была кратна 200 мм и составляла не менее 600 мм. Используемый материал корпуса сталь марки: СтЗсп.

Толщина обечайки опоры обычно не превышает толщину стенки нижнего днища. Примем 24 мм.

Размеры фундаментного кольца ОСТ 26-467-84 [30] устанавливает соотношения для внутреннего и наружного диаметров опорного кольца:

$$D_1 = (0,9 \div 0,96) \cdot D_H \quad (3.10)$$

$$D_2 = (1,08 \div 1,18) \cdot D_H \quad (3.11)$$

где D_H – наружный диаметр аппарата.

$$D_H = D_B + S \quad (3.12)$$

где D_B – внутренний диаметр аппарата;

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

S – толщина стенки аппарата.

$$D_H = 2 + 0,026 + 0,026 = 2,052 \text{ м}$$

$$D_1 = 0,94 \cdot 2,052 = 1,93 \text{ м}$$

$$D_2 = 1,12 \cdot 2,052 = 2,30 \text{ м}$$

Толщину фундаментного кольца принимаем равной 12 мм. Высоту опорных лап выбираем в пределах:

$$0,015 \cdot H_1 \geq h_{\text{л}} \geq 0,01 \cdot H_1 + 50 \text{ мм} \quad (3.13)$$

где H_1 – общая высота аппарата, с высотой опорных лап.

$$H_1 = H_{\text{ц}} + H_{\text{оп}} + H_{\text{вд}} + h \quad (3.14)$$

где $H_{\text{ц}}$ – высота цилиндрической части корпуса;

$H_{\text{оп}}$ – высота опорной обечайки;

$H_{\text{вд}}$ – высота верхнего днища, включая толщину стенки;

h – расстояние от кольцевого шва днища до линии приварки опоры к аппарату.

$$H_1 = 16600 + 2000 + (590 + 24) + 45 = 19259 \text{ мм}$$

Примем высоту колонны равной 19300 мм

$$0,015 \cdot 19300 \geq h_{\text{л}} \geq 0,01 \cdot 19300 + 50 \text{ мм}$$

$$288,89 \geq h_{\text{л}} \geq 242,59$$

Принимаем высоту опорных лап 260 мм.

Количество опорных лап равно числу фундаментных болтов. Принимаем 8 болтов диаметром 36 мм.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						52
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Ветровая нагрузка

Расчетная схема для определения ветровых нагрузок предполагает условное разделение аппарата на произвольные участки, высота каждого участка должна быть не более 10 м. Разделим колонну на два участка: $h_1 = 10$ м, $h_3 = 9,3$ м. Поправочный коэффициент Q_i для первого участка будет равен 1, а для второго участка 0,96 [31].

Ветровую нагрузку на каждый участок определяем по формуле:

$$P_i = K \cdot q_i \cdot \beta_i \cdot S_i \quad (3.15)$$

где K – аэродинамический коэффициент, для цилиндрического корпуса принимаем равным 0,6;

q_i – нормативный скоростной напор ветра для середины i -того участка аппарата на высоте x_i от уровня земли в заданном географическом районе;

β_i – коэффициент увлечения скоростного напора, учитывающий динамическое воздействие порывов ветра;

S_i – площадь наибольшего осевого сечения участка.

Площадь наибольшего осевого сечения участка определим по формуле:

$$S_i = D_i \cdot h \quad (3.16)$$

где D_i – наружный диаметр участка с учетом изоляции;

h – высота участка.

Нормативный скоростной напор ветра вычислим по формуле:

$$q_i = q_0 \cdot Q_i \quad (3.17)$$

где q_0 – нормативный скоростной напор ветра в данном географическом районе;

Q_i – коэффициент, учитывающий возрастание скоростного напора с увеличением высоты x_i над поверхностью земли.

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Для расчета примем, что установка находится в поселке Уренгой. Уренгой находится в третьем районе, следовательно, нормативный скоростной напор будет равен $q_0 = 45 \cdot 10^5$ МПа.

$$q_1 = 450 \cdot 1 = 450 \text{ Па}$$

$$q_2 = 450 \cdot 0,96 = 432 \text{ Па}$$

Коэффициент увлечения скоростного напора вычислим по формуле:

$$\beta_i = 1 + \xi \cdot m_i \quad (3.18)$$

где ξ – коэффициент динамичности;

m_i – коэффициент пульсации скоростного напора ветра.

Коэффициент пульсации принимаем равным 0,35 [22].

Коэффициент динамичности ξ находится в зависимости от периода собственных колебаний аппарата T (сек). Для аппарата постоянного сечения период определим по формуле:

$$T = 1,79H \cdot \sqrt{\frac{Q}{g}} \cdot \left(\frac{H}{E \cdot I} + 4 \cdot \varphi_0 \right) \quad (3.19)$$

где H – полная высота аппарата с опорой, м;

Q – вес аппарата, МН;

g – ускорение свободного падения = 9,81 м/с²;

I – экваториальный момент инерции площади поперечного сечения стенки корпуса аппарата относительно центральной оси, м⁴;

φ_0 – угол поворота опорного сечения фундамента под действием единичного момента, (МН · м)⁻¹.

Угол поворота опорного сечения фундамента под действием единичного момента определим по формуле:

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\varphi_0 = \frac{1}{C_\varphi \cdot I_\varphi} \quad (3.20)$$

где C_φ – коэффициент упругого неравномерного сжатия грунта, определяемый по данным инженерной геологии или в зависимости от нормативного давления R_n на подошву фундамента (для грунтов средней плотности при $R_n = 0,3$ МПа коэффициент $C_\varphi = 100$ МН/м³);

I_φ – экваториальный момент инерции площади подошвы фундамента.

Если размеры фундамента неизвестны, то принимают:

$$I_\varphi = 0,065 \cdot D_2^4 \quad (3.21)$$

где D_2^4 – наружный диаметр фундаментного кольца аппарата.

$$I_\varphi = 0,065 \cdot 2,05^4 = 1,15 \text{ м}^4$$

Тогда угол поворота сечения фундамента будет равен:

$$\varphi_0 = \frac{1}{100 \cdot 1,15} = 0,009 \text{ (МН} \cdot \text{м)}^{-1}$$

Максимальный вес аппарата равен:

$$Q_2 = Q_1 + Q_T + Q_{пл} + Q_{и} + Q_B \quad (3.22)$$

где Q_1 – минимальный вес аппарата, МН;

Q_T – вес тарелок, МН;

$Q_{пл}$ – вес площадок обслуживания, МН;

$Q_{и}$ – вес теплоизоляции аппарата, МН;

Q_B – вес воды в аппарате во время гидравлических испытаний, МН.

Минимальный вес аппарата равен:

$$Q_1 = Q_{ц} + Q_{д} + Q_{ол} + Q_{фк} + Q_{л} + Q_{лаз} + Q_{ш} \quad (3.23)$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

где $Q_{ц}$ - вес цилиндрической части аппарата, МН;

$Q_{д}$ - вес днищ, МН;

$Q_{ол}$ - вес обечайки опоры, МН;

$Q_{фк}$ - вес фундаментного кольца, МН;

$Q_{л}$ - вес опорных лап аппарата, МН;

$Q_{лаз}$ - вес люков-лазов, МН;

$Q_{ш}$ - вес штуцеров, МН.

Вес любой части аппарата определяется умножением ее объема на удельный вес материала. Так, вес цилиндрической части аппарата определяем по формуле:

$$Q_{ц} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{н}^2 - D_{в}^2) \cdot H_{ц} \cdot \rho \cdot g \quad (3.24)$$

$$Q_{ц} = \frac{3,14}{4} \cdot (2,05^2 - 2^2) \cdot 16,6 \cdot 7500 \cdot 9,81 = 194148 \text{ Н}$$

Объем металла выпуклой части эллиптического днища определяют по формуле:

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot (D_{н}^2 \cdot H_{н} - D_{в}^2 \cdot H_{в}) \quad (3.25)$$

где $H_{н}$, $H_{в}$ - соответственно, высота выпуклой части эллиптического днища с учетом толщины стенки и без ее учета.

$$V = \frac{3,14}{6} \cdot (2,05^2 \cdot 0,614 - 2^2 \cdot 0,59) = 0,115 \text{ м}^3$$

$$Q_{д} = V \cdot g \cdot \rho \quad (3.26)$$

Вес днищ:

$$Q_{д} = 0,115 \cdot 9,81 \cdot 7500 = 8483,83 \text{ Н}$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

Вес обечайки опоры:

$$Q_{\text{оп}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{в}}^2) \cdot H_{\text{оп}} \cdot \rho \cdot g \quad (3.27)$$

$$Q_{\text{оп}} = \frac{3,14}{4} \cdot (2,05^2 - 2^2) \cdot 2 \cdot 7500 \cdot 9,81 = 23391,33 \text{ Н}$$

Вес фундаментного кольца:

$$Q_{\text{фк}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{в}}^2) \cdot H_{\text{фк}} \cdot \rho \cdot g \quad (3.28)$$

$$Q_{\text{фк}} = \frac{3,14}{4} \cdot (2,05^2 - 2^2) \cdot 0,012 \cdot 7500 \cdot 9,81 = 140,35 \text{ Н}$$

Вес лап:

$$Q_{\text{л}} = 116 \cdot 8 = 928 \text{ Н}$$

Вес люков-лазов:

$$Q_{\text{лаз}} = Q_{\text{илаз}} \cdot N_{\text{лаз}} \quad (3.29)$$

Для ректификационных колонн применяют люки-лазы диаметром 450 мм, вес при давлении до 4,0 МПа составляет 3600 Н, количество люков-лазов примем равным четырем.

$$Q_{\text{лаз}} = 3600 \cdot 4 = 14400 \text{ Н}$$

Вес штуцеров:

$$Q_{\text{шт}} = \Sigma Q_{\text{шт}} \quad (3.30)$$

Общее количество штуцеров – 6: штуцер ввода сырья диаметром 200 мм и весом 414 Н, штуцер вывода паров ректификата диаметром 500 мм и весом

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

833 Н, штуцер предохранительного клапана диаметром 100 мм и весом 86 Н, штуцер ввода флегмы диаметром 80 мм и весом 64,5 Н, штуцер ввода паров из ребойлера диаметром 200 мм и весом 414 Н, штуцер вывода остатка диаметром 150 мм и весом 139,6 Н.

$$Q_{ш} = 414 + 833 + 86 + 64,5 + 414 + 139,6 = 1981,1 \text{ Н}$$

Подставим полученные значения в формулу (3.23) для определения минимального веса аппарата.

$$Q_1 = 194148 + 8483,83 + 23391,33 + 140,35 + 928 + 14400 + 1981,1 = 243475,67 \text{ Н} = 0,24 \text{ МПа}$$

Исходя из производственных данных, вес одной тарелки составляет 3300 Н. Общее количество тарелок в колонне – 16. Тогда вес тарелок:

$$Q_T = Q_{it} \cdot N_T \tag{3.31}$$

$$Q_T = 3300 \cdot 16 = 52800 \text{ Н}$$

Вес обслуживания площадок и лестниц находят, зная вес одной площадки (~ 10000 Н) и вес 1м лестницы (~1000 Н). При определении $Q_{пл}$ приняв число площадок равным числу люков-лазов, а общая длина лестниц равна высоте аппарата (с учетом опоры).

$$Q_{пл} = 10000 \cdot 3 + 1000 \cdot 19,3 = 49300 \text{ Н}$$

Вес теплоизоляции аппарата можно рассчитать, приняв соответствующий материал для теплоизоляции. Обычно этот вес составляет 5 ÷ 10% минимального веса аппарата.

$$Q_{и} = 0,1 \cdot 243472,67 = 24347,27 \text{ Н}$$

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						58
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Вес воды в (в Н) аппарате во время гидравлических испытаний равен:

$$Q_B = \left(\frac{\pi \cdot D_B^2}{4} \cdot H'_ц + 2 \cdot V_{gn} \right) \cdot \rho \cdot g \quad (3.32)$$

где $H'_ц = H_ц + 2 \cdot h$;

ρ – плотность воды.

Для стандартных эллиптических днищ:

$$V_{gn} = \frac{\pi}{24} \cdot D_B^3 \quad (3.33)$$

$$V_{gn} = \frac{3,14}{24} \cdot 2^3 = 1,05 \text{ м}^3$$

$$H'_ц = 16,6 + 2 \cdot 0,09 = 16,78 \text{ м}$$

Полученные данные подставим в формулу (2.32)

$$Q_B = \left(\frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 16,78 + 2 \cdot 1,05 \right) \cdot 1000 \cdot 9,81 = 537482 \text{ Н}$$

Полученные данные подставляем в формулу (2.32) для нахождения максимального веса аппарата:

$$Q_2 = 243472,67 + 52800 + 49300 + 24347,27 + 537482 = \\ = 907401,99 \text{ Н} = 0,9 \text{ МПа}$$

Экваториальный момент инерции площадь поперечного сечения стенки корпуса цилиндрического аппарата относительно центральной оси определяется по формуле:

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (D_H^4 - D_B^4) \quad (3.34)$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$I = \frac{3,14}{64} \cdot (2,05^4 - 2^4) = 0,081 \text{ м}^4$$

Модуль упругости примем равным $1,91 \cdot 10^5$ МПа [22].

Найдем период собственных колебаний аппарата, подставив все полученные значения в формулу (3.19)

$$T = 1,79 \cdot 19,3 \cdot \sqrt{\frac{0,9}{9,81} \cdot \left(\frac{19,3}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 0,81} + 4 \cdot 0,009 \right)} = 0,378 \text{ с}$$

Зная период колебаний, найдем коэффициент динамичности, примем равным 1,3 [31]. Вычислим коэффициент увлечения скоростного напора, подставив значения в формулу (3.18). Так как коэффициент пульсации будет идентичным на всех участках, то можно сказать, что $\beta_1 = \beta_2$.

$$\beta = 1 + 1,3 \cdot 0,35 = 1,455$$

Ветровая нагрузка на каждый участок будет равна:

$$P_1 = 0,6 \cdot 450 \cdot 1,455 \cdot (2,05 \cdot 10) = 8053,43 \text{ Н}$$

$$P_2 = 0,6 \cdot 432 \cdot 1,455 \cdot (2,05 \cdot 9,3) = 7489,69 \text{ Н}$$

Изгибающий момент от напора ветра в любом расчетном сечении на высоте x_0 от основания аппарата или постаменты вычисляют по формуле:

$$M_B = \sum_{i=1}^{n_0} P_i \cdot (x_i - x_0) \quad (3.35)$$

где n_0 – число участков, расположенных выше расчетного сечения.

$$x_1 = \frac{10}{2} = 5 \text{ м}$$

										Лист
										60
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

$$x_2 = 10 + \frac{9,3}{2} = 14,65 \text{ м}$$

$$M_B = 8053,43 \cdot 5 + 7489,69 \cdot 14,65 = 149991 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Большинство колонных аппаратов снабжено обслуживающими площадками, что увеличивает изгибающий момент от напора ветра. Суммарный изгибающий момент M'_B в расчетном сечении на высоте x_0 от основания аппарата (постамент) при наличии на аппарате m обслуживающих площадок находят по формуле:

$$M'_B = M_B + \sum_{i=1}^{m_0} M'_{Bi} \quad (3.36)$$

где m_0 – число обслуживающих площадок, расположенных выше расчетного сечения;

M'_{Bi} – изгибающий момент в расчетном сечении от ветрового напора на одну площадку. Определяется по формуле:

$$M'_{Bi} = 1,4 \cdot \beta_i \cdot q_i \cdot x_{ni} \cdot \sum f_i \quad (3.37)$$

где x_{ni} – высота расположения обслуживающей площадки;

$\sum f_i$ – сумма проекций всех элементов площадки, расположенных вне зоны аэродинамической тени, на вертикальную плоскость, зависит от конструкции и размеров обслуживающих площадок.

С небольшой погрешностью можно принять:

$$\sum f_i = 0,35 \cdot D_{ni} \cdot h_{ni} \quad (3.38)$$

где D_{ni} – диаметр аппарата на участке площадки;

h_{ni} – высота площадки (расстояние от настила до перил).

Так как высота аппарата меньше 20 м, принимаем $h_{ni} = 1$ м.

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\sum f_i = 0,35 \cdot 2,05 \cdot 1 = 0,72 \text{ м}^2$$

Ввиду того, что мы приняли три обслуживающие площадки, рассчитаем для каждой изгибающий момент, высоту расположения площадки и нормативный скоростной напор. Полученные данные сведем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Расчетные значения скоростных напоров и изгибающих моментов

Параметр	Площадка 1	Площадка 2	Площадка 3
q_i , МПа	450	450	531
x_{ni} , м	6	10	14
M'_{Bi} , Н · м	3946,18	6576,96	10865,14

$$q_1 = 450 \cdot 1 = 450 \text{ МПа}$$

$$q_2 = 450 \cdot 1 = 450 \text{ МПа}$$

$$q_3 = 450 \cdot 1,19 = 531 \text{ МПа}$$

$$M'_{B1} = 1,4 \cdot 1,455 \cdot 450 \cdot 6 \cdot 0,72 = 3946,18 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M'_{B2} = 1,4 \cdot 1,455 \cdot 450 \cdot 10 \cdot 0,72 = 6576,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M'_{B3} = 1,4 \cdot 1,455 \cdot 531 \cdot 14 \cdot 0,72 = 10865,14 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sum M'_{Bi} = 3946,18 + 6576,96 + 10865,14 = 21388,29 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Полученные значения изгибающих моментов подставим в формулу (3.36) и найдем суммарный изгибающий момент.

$$M'_B = 21388,29 + 14991 = 171379,30 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,17 \text{ МПа}$$

Проверка прочности фундамента

Состояние опорной поверхности аппарата является наиболее напряжен-

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		62

ной при совместном действии ветрового момента M_B и максимального веса Q_2 .

Максимальное напряжение на опорной поверхности фундаментного кольца определяют по формуле:

$$\sigma_2 = \frac{Q_2}{F} + \frac{M'_B}{W} \quad (3.39)$$

где F – опорная площадь фундаментного кольца, m^2 ;

W – момент сопротивления изгибу опорной площади фундаментного кольца, m^3 .

Опорная площадь определяется по формуле:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D_2^2 - D_1^2) \quad (3.40)$$

$$F = \frac{3,14}{4} \cdot (2,30^2 - 1,93^2) = 1,23 \text{ м}^2$$

Момент сопротивления изгибу вычисляется по формуле:

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D_2^4 - D_1^4}{D_2} \right) \quad (3.41)$$

$$W = \frac{3,14}{32} \cdot \left(\frac{2,30^4 - 1,93^4}{2,30} \right) = 0,6 \text{ м}^3$$

Подставив полученные значения в формулу (3.39), получим:

$$\sigma_2 = \frac{1,2}{1,23} + \frac{0,17}{0,6} = 1,26$$

В качестве материала фундамента принимаем бетон марки 100, допускаемое напряжение на сжатие которого, равно 4 МПа. Так как максимальное напряжение на опорной поверхности фундаментного кольца 1,26 меньше 4,

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

следовательно, выбранный материал обеспечивает прочность фундамента.

Определение толщины фундаментного кольца

Усилия, вызвавшие напряжения σ_2 , изгибают выступающие части фундаментного кольца. Из условий прочного сопротивления изгибу определяют толщину фундаментного кольца δ_k по формуле:

$$\delta_k = b \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_2}{[\sigma]}} \quad (3.42)$$

где b – ширина выступающей части фундаментного кольца, м;

σ – напряжения в кольце, которое можно принять равным нормативному допустимому напряжению при 20 °С.

Ширина выступающей части вычисляется по формуле:

$$b = \frac{D_2 - D_H^0}{2} \quad (3.43)$$

где D_H^0 – наружный диаметр опорной обечайки, определяется по формуле:

$$D_H^0 = D_H + 2 \cdot S \quad (3.44)$$

$$D_H^0 = 2,06 + 2 \cdot 0,012 = 2,076 \text{ м}$$

Тогда ширина выступающей части:

$$b = \frac{2,30 - 2,076}{2} = 0,112 \text{ м}$$

Толщина фундаментного кольца будет равна:

$$\delta_k = 0,112 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 1,26}{147}} = 0,02 \text{ м}$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Расчет аппарата на устойчивость

Ветровые усилия стремятся опрокинуть аппарат, поэтому необходимо проверка его на устойчивость. Если устойчивость недостаточна, следует укрепить аппарат на фундаменте болтами. Коэффициент устойчивости аппарата определяют по формуле:

$$y = \frac{M_Q}{M_B} = \frac{Q_1 \cdot R_1}{M_B} \quad (3.45)$$

где M_Q - момент от собственного веса аппарата относительно точки опрокидывания;

Q_1 – минимальный вес аппарата;

R_1 – плечо силы Q_1 ;

$$y = \frac{0,24 \cdot 0,86}{0,17} = 1,21$$

Так как коэффициент получился меньше 1,5, то необходимо установить фундаментные болты.

Фундаментные болты, предназначенные для обеспечения устойчивости аппарата, рассчитывают на прочность. Для этого определим минимальное напряжение на опорную поверхность фундаментного кольца:

$$\sigma_1 = \frac{Q_1}{F} - \frac{M_B}{W} \quad (3.46)$$

$$\sigma_1 = \frac{0,24}{1,23} - \frac{0,17}{0,6} = -0,09 \text{ МПа}$$

Так как $\sigma_1 < 0$, это свидетельствует об отрыве фундаментного кольца от фундамента. Отрыв предотвращают фундаментные болты.

Нагрузку на наиболее нагруженный болт P_δ приближенно (с не-большим запасом) определим по формуле:

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$P_{\delta} = \sigma_1 \cdot \frac{F}{n} \quad (3.47)$$

где n – число фундаментных болтов;

$$P_{\delta} = 0,09 \cdot \frac{1,23}{8} = 0,01 \text{ МН}$$

Из условия прочности на растяжение определим внутренний диаметр резьбы фундаментного болта:

$$d_{\delta} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\delta}}{\pi \cdot [\sigma]}} + C \quad (3.48)$$

$$d_{\delta} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01}{3,14 \cdot 147}} + 0,003 = 0,012 \text{ м}$$

Проверка устойчивости формы в сжатой зоне стенки цилиндрической опорной части корпуса

Для обеспечения устойчивости должно быть выполнено условие:

$$\frac{Q_2}{Q_{\text{доп}}} + \frac{M'_B}{M_{\text{доп}}} \leq 1 \quad (3.52)$$

где $Q_{\text{доп}}$ – допускаемая осевая сжимающая сила;

$M_{\text{доп}}$ – допускаемый изгибающий момент.

Допускаемая осевая сжимающая сила:

$$Q_{\text{доп}} = \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot \varphi_c \cdot [\sigma] \quad (3.53)$$

где φ_c – коэффициент уменьшения допускаемого напряжения.

При расчете опорной обечайки прибавку на коррозию C принимаем равной нулю.

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Величина его определяется по следующим зависимостям:

$$\text{при } \frac{D}{[2 \cdot (S - C)]} < 0,18 \cdot \frac{E}{\sigma_T}$$

$$\varphi_c = \frac{1}{1 + 23 \cdot \left(\frac{\sigma_T}{E} \cdot \frac{D}{2 \cdot (S - C)} \right)^2} \quad (3.54)$$

$$\text{при } \frac{D}{[2 \cdot (S - C)]} \geq 0,18 \cdot \frac{E}{\sigma_T}$$

$$\varphi_c = \frac{0,75 \cdot k_c}{\frac{\sigma_T}{E} \cdot \frac{D}{2 \cdot (S - C)}} \quad (3.55)$$

$$\frac{D}{[2 \cdot (S - C)]} = \frac{2}{[2 \cdot (0,026 - 0)]} = 38,46$$

$$0,18 \cdot \frac{E}{\sigma_T} = 0,18 \cdot \frac{1,91 \cdot 10^5}{245} = 140,33$$

Так как при расчете выполнилось первое условие, то коэффициент уменьшения допускаемого напряжения вычисляем по формуле (3.54).

$$\varphi_c = \frac{1}{1 + 23 \cdot \left(\frac{245}{1,91 \cdot 10^5} \cdot \frac{2}{2 \cdot (0,026 - 0)} \right)^2} = 0,9$$

Полученные значения подставляем в формулу (3.53).

$$Q_{\text{доп}} = 3,14 \cdot 2 \cdot (0,026 - 0) \cdot 0,9 \cdot 147 = 21,60 \text{ МН}$$

Допускаемый изгибающий момент рассчитывается по формулам:

$$\text{при } \frac{D}{[2 \cdot (S - C)]} < 0,23 \cdot \frac{E}{\sigma_T}$$

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$M_{\text{доп}} = 0,785 \cdot \varphi_u \cdot [\sigma] \cdot (S - C) \cdot D^2 \quad (3.56)$$

$$\text{при } \frac{D}{[2 \cdot (S - C)]} \geq 0,23 \cdot \frac{E}{\sigma_T}$$

$$M_{\text{доп}} = 0,785 \cdot k_u \cdot E \cdot D \cdot (S - C)^2 \quad (3.57)$$

$$0,23 \cdot \frac{1,91 \cdot 10^5}{245} = 179,31$$

Так как при расчете выполнилось первое условие, то допускаемый изгибающий момент вычисляем по формуле (3.56). Для этого рассчитаем коэффициент:

$$\varphi_u = \frac{1}{1 + 15,3 \cdot \left(\frac{\sigma_T}{E} \cdot \frac{D}{2 \cdot (S - C)} \right)^2} \quad (3.58)$$

$$\varphi_u = \frac{1}{1 + 15,3 \cdot \left(\frac{245}{1,91 \cdot 10^5} \cdot \frac{2}{2 \cdot (0,026 - 0)} \right)^2} = 0,96$$

$$M_{\text{доп}} = 0,785 \cdot 0,96 \cdot 147 \cdot (0,026 - 0) \cdot 2^2 = 11,52$$

Для проверки обеспечения устойчивости подставим полученные значения в уравнение (3.52):

$$\frac{0,9}{21,60} + \frac{0,17}{11,52} = 0,06$$

$0,06 \leq 1$ – следовательно, устойчивость формы в нижней части аппарата обеспечивается.

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

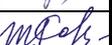
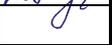
4.1 Основные требования безопасности при эксплуатации установки

По физико-химическим и взрывопожароопасным характеристикам сырья, готовой продукции, отходов производства и выбросам в атмосферу установка дезтанизации относится к взрыво- и пожароопасным производственным объектам. Сырье, поступающее на установку, относится к четвертому классу токсичности [32].

При ведении технологического процесса на установке возможные инциденты и аварийные ситуации, при которых осуществляется аварийная остановка каждого участка установки. В случаях аварийной остановки предусмотрен аварийный сброс технологического оборудования по газовой фазе в факельную систему. Освобождение технологического оборудования по жидкостной фазе производится в закрытую дренажную систему [33].

В части безопасности производств, охраны труда и промышленной санитарии, следует предусматривать:

- внедрение систем автоматического и дистанционного управления производственным оборудованием и регулирования технологическими процессами на взрывоопасных и вредных производствах;
- выполнение на стадии проектирования акустического расчета предприятия с определением ожидаемых уровней шума на постоянных рабочих местах, в рабочих зонах производственных помещений и на территории предприятий;
- выполнение на стадии проектирования расчетов ожидаемых уровней всех возможных производственных факторов и на стадии проектирования разрабатывать мероприятия по снижению их воздействия;
- внедрение систем автоматического контроля и сигнализации уровней

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Медведева А.Н.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Лескова С.А.</i>				<i>У</i>	<i>69</i>	<i>76</i>
<i>Консульт.</i>		<i>Козырь А.В.</i>			<i>Модернизация установки дезтанизации</i>			
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						
					<i>АМГУ ИФФ зр. 618-об</i>			

опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах;

- внедрение и совершенствование технических устройств, обеспечивающих защиту работников от поражения электрическим током;
- механизацию и автоматизацию технологических процессов, связанных с хранением, перемещением, заполнением и опорожнением резервуаров ядовитыми, агрессивными, легковоспламеняющимися и горючими жидкостями;
- применение новых и совершенствование имеющихся средств коллективной и индивидуальной защиты работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов;
- соблюдение необходимого уровня естественного и искусственного освещения на рабочих местах, в цехах, бытовых помещениях, местах массового перехода людей на территории объектов;
- нанесение на производственное оборудование, коммуникации и другие объекты сигнальных цветов и знаков безопасности;
- устройство на действующих объектах новых и реконструкцию имеющихся санитарно-бытовых помещений, мест организации отдыха, комнат психологической разгрузки, уголков по охране труда и техники безопасности, а также укрытий от солнечных лучей и атмосферных осадков при работах на открытом воздухе.

4.2 Воздействие на окружающую среду при условиях аварийной и безаварийной эксплуатации

Основное воздействие установки на окружающую среду связано с выбросами вредных веществ в атмосферу, особо опасными при авариях, сопровождающихся самовозгоранием природного газа [24].

Характерные загрязняющие воздушный бассейн вещества – это оксид углерода, метан, сернистый ангидрид, оксиды и диоксиды азота.

Значительные по массе выбросы оксида углерода, предельных углеводородов, диоксида азота не оказывают сопоставимого по токсичности воздействия.

К основным источникам воздействия на атмосферный воздух при пере-

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						70
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

работке углеводородного сырья относятся:

- дымовые трубы технологических печей, подогревателей;
- факелы утилизации продувочных газов;
- дымовые трубы установок сжигания производственных отходов.

Предприятия отрасли вносят значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха в районах их дислокации.

Выбросы вредных веществ разделяются на организованные и неорганизованные. К первым относятся выбросы, которые отводятся от мест выделения и улавливаются с помощью специальных установок. Ко вторым – возникающие за счет не герметичности технологического оборудования, резервуаров и т. п.

Основными причинами увеличения выбросов загрязняющих веществ являются рост производства и объемов транспортировки газа. Кроме того, на многих предприятиях продолжалась инвентаризация источников выбросов, и частично рост показателей связан с учетом новых объектов.

На основании информации о территории размещения объекта в проектах необходимо предусматривать:

- размещение объектов на наименее ценных в сельскохозяйственном и лесохозяйственном отношении территориях;
- для уменьшения зоны негативного воздействия все строительномонтажные работы проводятся строго в пределах отводимых земельных участков;
- экологическую маркировку с целью обозначения на местности особо охраняемых территорий (заповедники, заказники, памятники природы, историко-культурного наследия и т. д.) и разработки мероприятий по их сохранности;
- для сокращения площадей, занимаемых под строительство необходимо, увеличение коэффициента застройки территорий, применение однетрубной системы сбора и транспортировки нефти, газа и пластовой воды;
- для предотвращения загрязнения почвенного покрова бытовыми отходами необходим их организованный сбор и последующая утилизация, а также

										Лист
										71
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР.161864.180301.ПЗ					

организованная локализация бытовых и производственных сточных вод после очистки их в системе очистных сооружений.

С целью уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу, в том числе метана, требуется проведение комплекса мероприятий, включающих совершенствование действующих технологических процессов с целью существенного сокращения производственных отходов, использования отходов в самом производстве или в других производствах, разработки и внедрения наиболее совершенных методов утилизации и обезвреживания.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						72
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении выпускной квалификационной работы были рассмотрены способы газоразделения. Основными способами являются: адсорбция, абсорбция, ректификация, конденсация, также существует новый метод разделения – мембранный, основанный на процессе фильтрации. Наиболее эффективным методом является ректификация, который позволяет получать продукты с заданной степенью чистоты.

Изучено действие установки дезтанизации, основным оборудованием которой является ректификационная колонна. Ввиду этого был проведен технологический и механический расчеты колонного аппарата. Определен проблемный участок и предложена модернизация по усовершенствованию ректификационной колонны.

В ходе технологического расчета выявлено, что в качестве массообменного устройства, использовалась тарелка с низким КПД. Предложенная модернизация заключалась в замене колпачковой тарелки на решетчатую тарелку провального типа с большим КПД. Нововведение позволит уменьшить затраты на эксплуатацию оборудования с сохранением начальной производительности.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					
<i>Разраб.</i>	<i>Медведева А.Н.</i>	<i>Лескова С.А.</i>	<i>Родина Т.А.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>	Модернизация установки дезтанизации				
<i>Пров.</i>	<i>Лескова С.А.</i>	<i>Родина Т.А.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>	<i>Лит.</i>				<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Консульт.</i>				У				73	76
<i>Н. контр.</i>	<i>Родина Т.А.</i>			АмГУ ИФФ гр. 618-0б					
<i>Зав. каф.</i>	<i>Гужель Ю.А.</i>								

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Багаутдинов, И. З. Низкотемпературные процессы разделения углеводородных газов / И. З. Багаутдинов, Н. Е. Кувшинов // Инновационная наука. – 2016. – № 3. – С. 26-28.

2 Лapidус, А.Л. Первичная переработка углеводородных газов. Газохимия / А. Л. Лapidус, И. А. Голубева, Ф.Г. Жагфаров. – М: Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. – 240 с.

3 Gazprominfo.ru: Информаторий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gazprominfo.ru/terms/adsorption/> – 20.05.2020.

4 Николаев, В.В. Основные процессы физической и физико-химической переработки газа / В. В. Николаев, Н. В. Бусыгина, И. Г. Бусыгин. – М: Недра, 1998. – 184 с.

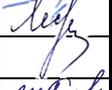
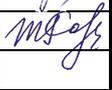
5 Оптимизация циклических адсорбционных процессов установок разделения газовых смесей / Е. И. Акулин [и др.] // Математические методы в технике и технологиях. – 2020. – № 6. – С. 15-18.

6 Газофракционирование / Л. И. Муллахметова [и др.] // Вестник технологического университета. – 2016. – № 24. – С. 49-55.

7 Атабегова, Е. А. Обзор методов низкотемпературной переработки попутных нефтяных газов / Е. А. Атабегова, Л. Б. Волокитин, С. А. Гаранов, С. Д. Глухов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2010. – С. 230-235.

8 ИТС 50-2017. Переработка природного и попутного газа. – М.: Бюро НДТ, 2017. – 213 с.

9 Tegaz.ru: [Электронный ресурс]. – М., 2018. – Режим доступа: [/https://tegaz.ru/knowledge/library/gazorazdelitelnye-ustanovki.php](https://tegaz.ru/knowledge/library/gazorazdelitelnye-ustanovki.php) – 20.05.2020.

					<i>ВКР.161864.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Медведева А.Н.</i>			<i>Модернизация установки дезтанизации</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Лескова С.А.</i>				<i>У</i>	<i>74</i>	<i>76</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АМГУ ИФФ зр. 618-0б</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

10 Жерандоева, А. А. Мембранный метод разделения природного газа / А. А. Жерандоева, Н. П. Коновалов // 60 лет снимкам обратной стороны луны. – 2019. – С. 38-41.

11 Neftegaz.ru: [Электронный ресурс]. – М., 2012. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/tekhnologii/141778-nizkotemperaturnaya-kondensatsiya-i-rektifikatsiya-ntk/> – 20.03.2020.

12 Шевкунов, С. Н. Адсорбционная осушка и низкотемпературная ректификация в процессах промышленной подготовки природного газа / С. Н. Шевкунов // Нефть газ. – 2016. – № 7. – С. 46-48.

13 Миннырадиев, И.И. Определение оптимального режима работы блока деэтанзации с точки зрения снижения энергозатрат / И. И. Миннырадиев, С. В. Рачковский // Вестник технологического университета. – 2017. – № 3. – С. 136-137.

14 Mybiblioteka.su: [Электронный ресурс]. – М., 2017. – Режим доступа: <https://mybiblioteka.su/tom2/2-112693.html> – 22.03.2020.

15 Кобилов, Х.Х. Основные уравнения процесса перегонки жидких смесей / Х. Х. Кобилов, Д. Ф. Гойибова, А. П. Назарова // Молодой ученый. – 2015. – № 7. – С. 155-158.

16 Муминов, Р.Р. Метод физико-химического анализа при расчете числа теоретических ступеней контакта ректификации / Р. Р. Муминов, Ф. А. Фузайлов // Молодой ученый. – 2016. – № 6. – С. 139-142.

17 Борисов, Г.С. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский. – 2-е изд. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

18 ГОСТ Р 52087-2003 Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия. – Введ. 01-07-2004. – М.: Стандартинформ, 2006. – 11 с.

19 ТУ 38.101524-2015 Фракция широкая легких углеводородов.

20 ТУ 0272-084-0151638-2011 Фракция широкая легких углеводородов ЗПКТ.

21 ТУ 0272-022-00151638-99 Фракция этановая.

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		75

22 ТУ 0272-003-00135817-2000 Бензин газовый стабильный, вырабатываемый из легкого углеводородного сырья (ЛУС).

23 Кузнецов, А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А. А. Кузнецов, С. М. Кагерманов, Е. Н. Судаков. – Л.: Химия, 1974. – 344 с.

24 Багатуров, С.А. Теория и расчет перегонки и ректификации / С. А. Багатуров. – М.: Красный печатник, 1961. – 437 с.

25 Гурвич, И.Л. Технология переработки нефти и газа / И. Л. Гурвич. ч. 1. – М.: Химия, 1972. – 361 с.

26 Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Л.: Химия, 1981. – 560 с.

27 ГОСТ Р 52630-12 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. – Введ. 01-04-2013. – М.: Стандартиформ, 2013. – 83 с.

28 ГОСТ 14637-89 Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия. – Введ. 01-01-1991. – М.: Стандартиформ, 2006. – 80 с.

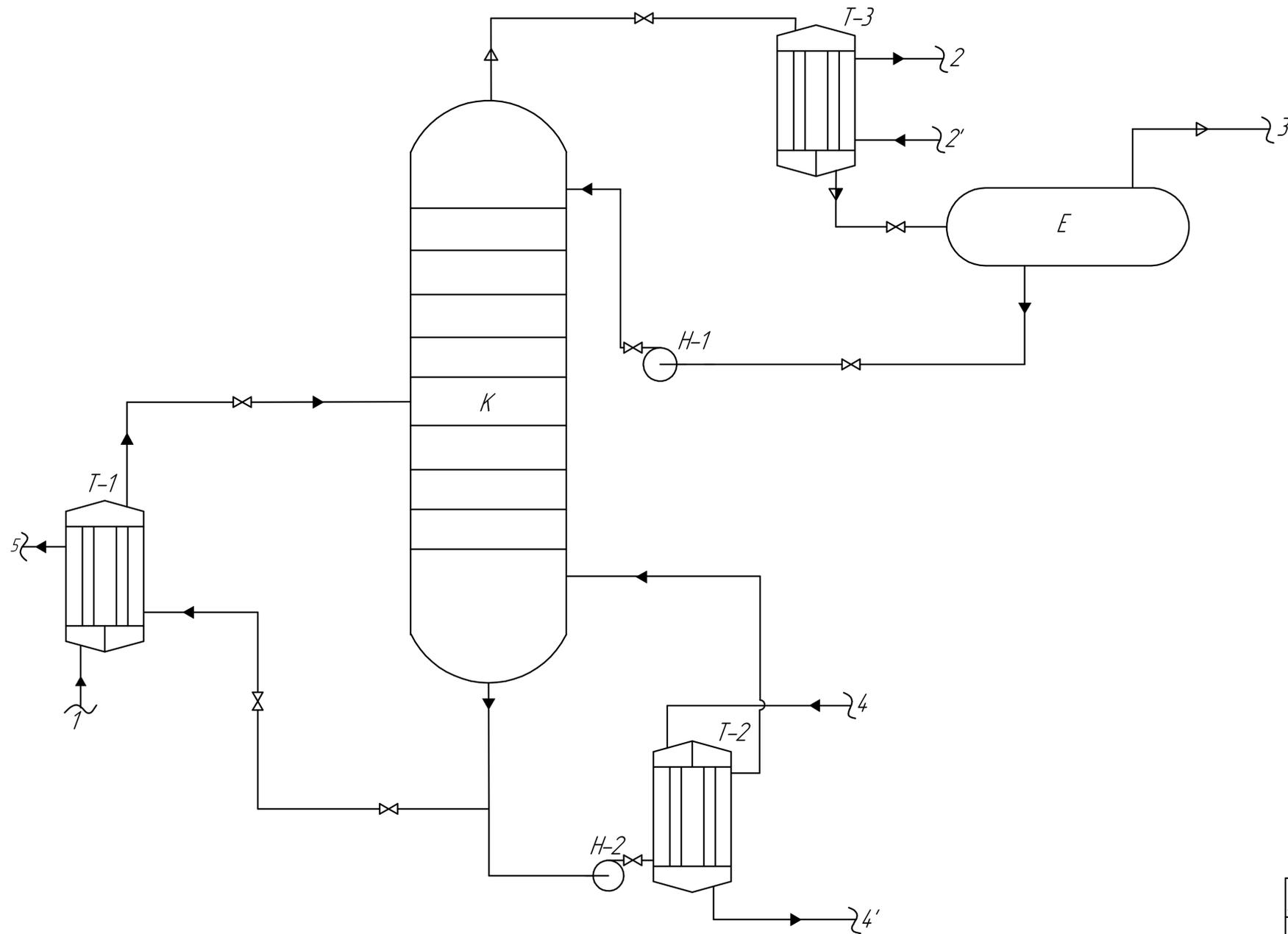
29 ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – Введ. 01-01-1990. – М.: Стандартиформ, 2006. – 56 с.

31 Прочностные расчеты отдельных элементов технологического оборудования / А. П. Леонтьев [и др.] – Т.: ТюмГНГУ, 2012. – 144 с.

32 Мишин, В.М. Переработка природного газа и конденсата: Учебник для системы непрерывного фирменного профессионального обучения рабочих в обществах и организациях ОАО «Газпром» / В. М. Мишин. – М.: Академия, 1999. – 448 с.

33 Промышленная безопасность на газоперерабатывающих производствах: Сборник документов. Серия 08. Выпуск 1 / Е. А. Иванов [и др.]. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. – 304 с.

					ВКР.161864.180301.ПЗ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



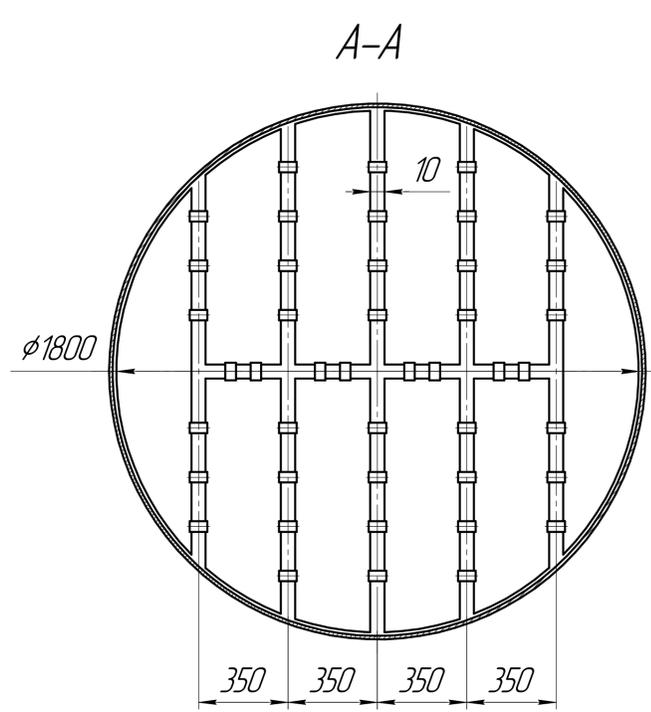
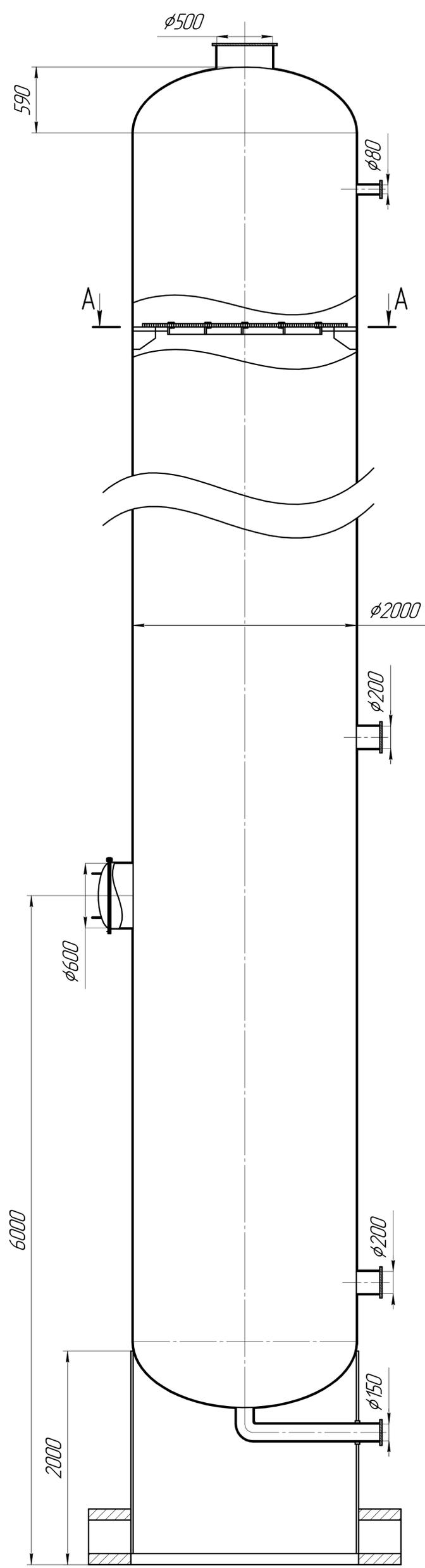
№ п/п	Поток
1	Сырье
2	Аммиак
3	Этановая фракция
4	Водяной пар
5	ШФЛУ

Формат	Этап	Паз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
			E	Емкость	1	
			K	Ректификационная колонна	1	
			H-1,2	Центробежные насосы	2	
			T-1,2,3	Теплообменные аппараты	3	

ВКР.16.1864.180301

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Модернизация установки дезанизации	Лит.	Масштаб	Масштаб	
Разраб.	Медведева А.А.	И.И.				у			
Проб.	Лескова С.А.				Технологическая схема установки дезанизации	Лист	1	Листов	2
Исполн.	Родина Т.А.					АМГУ ИФФ	гр. 618-ад		
Утв.					Копиробал	Формат	А1		

Лист № 1
Лист № 2
Лист № 3
Лист № 4
Лист № 5
Лист № 6
Лист № 7
Лист № 8
Лист № 9
Лист № 10
Лист № 11
Лист № 12
Лист № 13
Лист № 14
Лист № 15
Лист № 16
Лист № 17
Лист № 18
Лист № 19
Лист № 20
Лист № 21
Лист № 22
Лист № 23
Лист № 24
Лист № 25
Лист № 26
Лист № 27
Лист № 28
Лист № 29
Лист № 30



Техническая характеристика:

1. Аппарат предназначен для выделения этановой фракции
2. Производительность по сырью 34000 кг/ч
3. Давление в колонне 2,86 МПа
4. Температура среды в кубе 96
5. Тарелки решётчатые провального типа
6. Число тарелок - 16

Технические требования:

1. При изготовлении, испытании и поставке аппарата должны выполняться требования:
 - а) ГОСТ 12.2.003-74 "Оборудование производственное. Общие требования безопасности."
 - б) ОСТ 26-291-79 "Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования."
2. Материал аппарата и тарелок - Ст3сп ГОСТ Р 52630-12
3. Сварные соединения должны соответствовать требованиям ОСТ 26-01-82-77 "Сварка в химическом машиностроении."

Изд. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Изд. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Изд. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Изд. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Изд. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

				ВКР.16.1864.180301.В0			
Изд. №	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.	Медведева А.А.	И.И.			у		1:20
Проб.	Лескова С.А.	И.И.					
Т.контр.					Лист 2	Листов 2	
И.контр.	Родина Т.А.	И.И.			АМГУ ИФФ 618-ад гр.		
Этап					Формат А1		

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

ОТЗЫВ

на бакалаврскую работу студента инженерно-физического факультета

Фамилия: Медведева

Имя: Анастасия

Отчество: Николаевна

Направление подготовки: 18.03.01 «Химическая технология»

Тема бакалаврской работы: Модернизация установки деэтанзации

1. Объем работы:

- количество листов дипломной работы – 75 стр.;
- количество рисунков и таблиц – 1 рисунок, 12 таблиц; 98 формул;
- число приложений – 1.

2. Соответствия содержания работы заданию (полное или неполное):

содержание бакалаврской работы в полной мере соответствует заданию.

Вопросы задания, не нашедшие отражения в работе:

вопросы задания в бакалаврской работе отражены в достаточном объеме.

Материалы, представленные в работе, непосредственно не связанные с темой и направленностью:

материалов, представленных в бакалаврской работе, непосредственно не связанных с темой нет.

3. Достоинства бакалаврской работы:

рассмотрены способы газоразделения, изучена технологическая схема установки деэтанзации, проведены технологический и механический расчеты ректификационной колонны, предложена рекомендация по усовершенствованию ректификационной колонны, рассмотрено влияние фракционирующей установки на окружающую среду.

4. Недостатки бакалаврской работы:

серьезные недостатки в бакалаврской работе отсутствуют.

5. Степень самостоятельности, проявленная выпускником и характер ее проявления:

бакалаврская работа выполнена самостоятельно. Студент самостоятельно определился с темой работы, подобрал необходимую для выполнения работы информацию, рассмотрел способы газоразделения, изучил технологическую схему установки деэтанзации, провел технологический и механический расчеты ректификационной колонны, выявил проблемный участок, предложил и обосновал модернизацию установки.

6. Масштабы и характер использования специальной литературы:
специальная литература и нормативные документы для решения поставленных задач использованы в достаточном объеме.

7. Достоинства и недостатки оформления текстовой части и графического материала:
текстовая часть и графический материал оформлены в соответствии с правилами оформления бакалаврских работ, грамматические ошибки отсутствуют.

8. Особенности общепрофессиональной и специальной подготовки выпускников:
при выполнении выпускной квалификационной работы Медведева А.Н. показала определенный уровень профессиональной компетентности.

9. Практическая значимость (внедрение) результатов бакалаврской работы:
предложения, представленные в бакалаврской работе, могут использоваться в деятельности предприятия.

10. Общее заключение и предлагаемая оценка работы:
бакалаврская работа соответствует требованиям федерального государственного образовательного стандарта и заслуживает оценки «отлично», а Медведева Анастасия Николаевна – присвоения квалификации бакалавр по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология».

«30» июня 2020 г.

Руководитель  С.А.Лескова



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Медведева Анастасия Николаевна
Подразделение	
Тип работы	Выпускная квалификационная работа
Название работы	Для проверки
Название файла	Для проверки.pdf
Процент заимствования	36.00 %
Процент самоцитирования	0.00 %
Процент цитирования	12.48 %
Процент оригинальности	51.52 %
Дата проверки	13:35:32 24 июня 2020г.
Модули поиска	Модуль поиска ИПС "Адилет"; Модуль поиска "АмГУ"; Модуль выделения библиографических записей; Сводная коллекция ЭБС; Модуль поиска "Интернет Плюс"; Коллекция РГБ; Цитирование; Модуль поиска переводных заимствований; Модуль поиска переводных заимствований по eLibrary (EnRu); Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu); Коллекция eLIBRARY.RU; Коллекция ГАРАНТ; Коллекция Медицина; Диссертации и авторефераты НББ; Коллекция Патенты; Модуль поиска общепотребительных выражений; Кольцо вузов
Работу проверил	Гужель Юлия Александровна ФИО проверяющего
Дата подписи	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"><div style="width: 60%;"></div><div style="width: 35%; text-align: right;">Подпись проверяющего</div></div>

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.



Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.