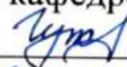


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

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
« 28 » июня 2021 г.

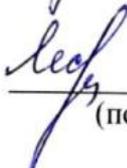
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки
ЭЛОУ-АВТ

Исполнитель
студент группы 718-об

 18.06.2021 А.А. Игошина
(подпись, дата)

Руководитель
доцент, канд. хим. наук

 22.06.2021 С.А. Лескова
(подпись, дата)

Консультант по безопасности
жизнедеятельности
доцент, канд. техн. наук

 15.06.2021 А.В. Козырь
(подпись, дата)

Нормоконтроль
проф., док. хим. наук

 23.06.2021 Т.А. Родина
(подпись, дата)

Благовещенск 2021

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

Факультет Инженерно-физический
Кафедра Химии и химической технологии

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

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Игошиной Анны Алексеевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ» утверждена Приказом от 23.04.2021 г № 812-уч
2. Срок сдачи студентом законченной работы 29.06.2021 г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: производительность по сырью 30000 кг/ч., контактные устройства – ситчатые тарелки, КПД 0,65. Литературные данные
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по проблемам первичной переработки нефти и способам усовершенствования атмосферной колонны. Характеристика сырья и готовой продукции установки ЭЛОУ-АВТ. Описание технологической схемы атмосферного блока. Составление материального баланса атмосферной колонны. Технологический расчет атмосферной колонны. Механический расчет колонны после модернизации.
5. Перечень материалов приложения: Технологическая схема атмосферного блока. Основной вид атмосферной колонны.
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А.В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность производства»
7. Дата выдачи задания 14.05.2021 г

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

Задание принял к исполнению 14.05.2021 г.



РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 78 с., 5 рисунков, 11 таблиц, 30 источников.

МОДЕРНИЗАЦИЯ, АТМОСФЕРНАЯ КОЛОННА, РЕКТИФИКАЦИЯ, НЕФТЬ, ФРАКЦИЯ, УСТАНОВКА, КОНТАКТНОЕ УСТРОЙСТВО

В работе произведен подбор и анализ литературы для рассмотрения основных методов первичной переработки нефти на фракции, проанализирован технологический регламент атмосферного блока установки ЭЛОУ-АВТ, рассмотрены характеристики сырья и производимой продукции.

Цель работы – изучить действие атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ и предложить ее модернизацию.

В результате исследования были рассмотрены основные массообменные процессы, устройство тарелок ректификационных колонн и их виды, направления переработки нефти. Изучена технологическая схема атмосферного блока установки ЭЛОУ-АВТ, 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.

Графическая часть выполнена на двух листах, включает технологическую схему существующего блока атмосферной установки и общий вид атмосферной ректификационной колонны.

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Игошина А. А.</i>			<i>Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С. А.</i>				<i>У</i>	<i>3</i>	<i>78</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АмГУ ИФФ</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т. А.</i>				<i>гр. 718-об</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гцжель Ю. А.</i>						

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Литературный обзор.....	6
1.1 Сущность ректификации и принцип работы колонных аппаратов.....	6
1.2 Устройство тарелок ректификационных колонн.....	9
1.3 Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ.....	13
1.3.1 Выбор и обоснование модернизации атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ.....	16
2 Технологическая часть.....	19
2.1 Характеристика сырья, материалов и полупродуктов.....	19
2.2 Производимая продукция и область ее применения	21
2.3 Описание технологической схемы блока атмосферной перегонки.....	26
2.4 Технологический расчет	30
2.4.1 Материальный баланс колонны.....	30
2.4.2 Диаметр и высота колонны.....	47
2.4.3 Обоснование модернизации ректификационной колонны.....	50
3 Механический расчет колонны.....	52
3.1 Расчет деталей аппарата.....	52
3.2 Расчет аппарата на действие ветровых сил.....	55
4 Безопасность и экологичность производства.....	70
4.1 Основные требования безопасности при эксплуатации установки...	70
4.2 Влияние блока атмосферной перегонки установки ЭЛОУ-АВТ на окружающую среду	72
Заключение.....	74
Библиографический список.....	75

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Игошина А. А.</i>			<i>Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>У</i>	<i>4</i>	<i>78</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С. А.</i>				<i>АмГУ ИФФ гр. 718-од</i>		
<i>Консульт.</i>								
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т. А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю. А.</i>						

ВВЕДЕНИЕ

Нефтепереработка – многоступенчатый процесс физической и химической переработки сырой нефти, являющейся сырьем для производства огромного количества полезной продукции (полимеры, краски и др.).

В настоящее время главной задачей нефтеперерабатывающей промышленности является углубление переработки нефти.

Глубина переработки нефти (ГПН) – показатель, характеризующий эффективность использования сырья. По показателю ГПН можно установить количество потерь нефти на получение побочной продукции. Значение ГПН можно увеличить за счет модернизаций НПЗ, введения новых, современных установок и использования продвинутых технологий.

Поскольку одним из основных оборудований нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) является электрообессолевающая установка атмосферно-вакуумная трубчатка (ЭЛОУ-АВТ), предназначенная для разделения нефти на фракции, то целесообразно начать усовершенствование установки с атмосферной ректификационной колонны.

Цель выпускной квалификационной работы – изучить действие атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ и предложить ее модернизацию.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи: рассмотреть процесс ректификации и принцип действия колонных аппаратов; изучить научную документацию по вопросу модернизации атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ, провести технологический и механический расчеты ректификационной колонны, выполнить чертежи технологической схемы атмосферного блока установки ЭЛОУ-АВТ и общего вида атмосферной ректификационной колонны.

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Игошина А.А.</i>			<i>Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С. А.</i>				<i>У</i>	<i>5</i>	<i>78</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АмГУ ИФФ гр. 718-об</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т. А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю. А.</i>						

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Сущность ректификации и принцип работы колонных аппаратов

Процесс массообмена – процесс, в котором основную роль играет перенос вещества из одной фазы в другую. Движущая сила – разность химических потенциалов, характеризующая степень отклонения системы от состояния динамического равновесия [1].

Массопередача – процесс перехода вещества из одной фазы в другую при непосредственном их соприкосновении в направлении достижения равновесия [2].

В основе процессов, происходящих в основной атмосферной колонне, лежит ректификация.

Ректификация – наиболее полное разделение смесей жидкостей. Процесс заключается в многократном взаимодействии паров с жидкостью – флегмой, полученной при конденсации паров. Процесс ректификации проводится в ректификационных колоннах на специальных устройствах – ректификационных тарелках или насадках.

Движущая сила процесса ректификации – разность между фактическими и равновесными концентрациями компонентов в паровой фазе, отвечающими данному составу жидкой фазы [3].

Главная особенность осуществления ректификации состоит в том, что на каждом уровне (контактной тарелке) колонны одновременно протекает двусторонний массоперенос: с одной стороны, процесс однократного испарения стекающей сверху вниз более легкой и более холодной жидкости и, с другой стороны, однократной конденсации поднимающегося снизу вверх более тяжелого и более горячего пара (газа). Тепло конденсации пара используется для испаре-

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Игошина А.А.</i>			<i>Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С. А.</i>				<i>У</i>	<i>6</i>	<i>78</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АмГУ ИФФ гр. 718-об</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т. А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю. А.</i>						

ния жидкости. В итоге в пар переходят более легкие, летучие компоненты, а в жидкость – менее легкие и менее летучие, то есть более тяжелые компоненты.

Часть ректификационной колонны, которая расположена выше ввода сырья, называется концентрационной, а расположенная ниже ввода – отгонной. В обеих частях колонны происходит один и тот же процесс ректификации.

С верха концентрационной части в паровой фазе выводится целевой продукт необходимой чистоты – ректификат, а из нижней части колонны выводится второй продукт – кубовый остаток.

Часть готового продукта (ректификата) после конденсации возвращается на верхнюю тарелку в виде так называемого орошения (флегмы). При помощи подаваемого наверх колонны холодного (острого) орошения регулируется температура верха колонны. Тем самым определяется качество ректификата по температуре конца кипения, по содержанию в нем высококипящих компонентов.

В сложных колоннах, зачастую, острого орошения бывает недостаточно для регулирования теплового режима и создания флегмы по всей высоте колонны, поэтому используют циркуляционные орошения. Флегму с полуглухой тарелки забирают насосом, прокачивают через теплообменник и охлажденную возвращают в колонну на лежащую выше тарелку. Отгонные части сложных колонн выделяют в самостоятельные аппараты, называемые отпарными колоннами (стриппингами).

Для повышения концентрации высококипящих компонентов в остатке от перегонки нефти в нижнюю часть ректификационной колонны вводят испаряющийся агент (чаще всего водяной пар) [4].

Влияние ввода водяного пара заключается в следующем:

- интенсивно перемешивается кипящая жидкость, способствуя испарению низкокипящих углеводородов;
- образуется большая поверхность испарения, поскольку процесс происходит внутри множества пузырьков водяного пара;

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- снижается парциальное давление углеводородов, а, соответственно, и температура кипения углеводородов [5].

Водяной пар проходит всю ректификационную колонну и уходит с верхним продуктом, понижая температуру отбора фракций в пределах до 20 °С.

Применяют перегретый в печах водяной пар и вводят его в колонну с температурой, равной температуре подаваемого сырья или несколько выше.

Расход водяного пара зависит от количества отпариваемых компонентов, их природы и условий внизу колонны [6].

Увеличение количества пара ведет к повышению нагрузки колонны по парам, повышению перепада давления, избыточному обводнению нефтепродуктов и к усилению коррозионных явлений.

Перегонку при атмосферном давлении нефти проводят при температуре не выше 370 °С, так как при более высокой температуре начинается крекинг.

Эффективность процесса ректификации характеризуется четкостью ректификации – предельным содержанием низкокипящих и высококипящих компонентов в целевых фракциях, а также глубиной отбора целевых фракций от сырья [7].

Четкость ректификации и глубина отбора зависят от температуры нагрева сырья, количества подаваемого орошения (флегмы), типа и числа тарелок, конструкции и места ввода сырья, рабочих условий и других.

Важнейшими факторами процесса ректификации являются: температурным режим, давление и изменением количества подаваемого в колонны водяного пара.

Температура сырья на входе в колонну зависит от природы сырья, заданной глубины отбора дистиллятов, давления и относительного расхода водяного пара [8].

Чем легче по фракционному составу сырье и чем меньше глубина отбора дистиллятов, тем более низкой может быть температура сырья на входе в колонну.

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>8</i>

Температура верха колонн и отборов боковых погонов в сложных ректификационных колоннах регулируется за счет изменения количеств острого и циркуляционного орошений [9].

Увеличение температуры низа колонны или соответствующей секции сложной колонны приводит к уменьшению содержания легкокипящих компонентов в остатке и увеличению отбора фракций от сырья или в данной секции.

Кроме того, увеличение количества циркуляционных орошений делает возможным разгрузить верхнюю часть колонны по парам, уменьшить подачу острого орошения, повысить температуру предварительного нагрева сырья [10].

Увеличение давления в колонне вызывает также повышение температуры кипения углеводородов, а, следовательно, и повышение температуры процесса ректификации, что приводит к увеличению теплотерь; также снижается четкость разделения фракций.

Увеличение количества водяного пара, подаваемого в низ колонны, до определенного предела позволяет увеличить глубину отбора дистиллятов из сырья при прочих равных условиях [11].

1.2 Устройство тарелок ректификационных колонн

Для обеспечения эффективного контактирования фаз ректификационные колонны снабжаются внутренними устройствами. В зависимости от конструкции этих устройств осуществляется непрерывное (в насадочных колоннах) и ступенчатое (в тарельчатых колоннах) контактирование фаз [12].

В тарельчатых колоннах контактные устройства монтируются горизонтально внутри колонны. Рабочие поверхности всех ректификационных тарелок заполнены жидкостью, стекающей по колонне. Процесс обусловлен устройством тарелок, при котором балансовое количество жидкости перетекает на нижележащую тарелку.

В настоящее время в промышленности контактные тарелки можно классифицировать:

- по способу передачи жидкости с тарелки на тарелку;
- способу взаимодействия жидкой и паровой (газовой) фаз;

						ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			9

- характеру диспергирования взаимодействующих фаз;
- конструкции устройства для ввода пара (газа) в жидкость.

По способу передачи жидкости различают тарелки со специальными переточными устройствами и тарелки провальные [13].

К тарелкам ректификационных колонн предъявляются следующие требования: они должны обеспечивать хороший контакт между жидкостью и паром, имеют низкое гидравлическое сопротивление, стабильно работают при значительных колебаниях расхода пара и жидкости. Тарелки должны иметь малую массу, быть простыми по конструкции и удобными в эксплуатации.

В ректификационных колоннах наибольшее применение находят колпачковые, ситчатые, струйно-направленные и клапанные тарелки [14].

- Колпачковые тарелки металлоемки и сложны по сравнению с тарелками других типов; по некоторым параметрам они уступают более современным конструкциям, однако такие тарелки находят широкое применение в промышленности. Основная деталь – колпачок с патрубком в центре. При барботаже пара через прорезы колпачков на тарелке образуется пена, на которой происходит интенсивный массообмен между паром и жидкостью (рисунок 1) [15].

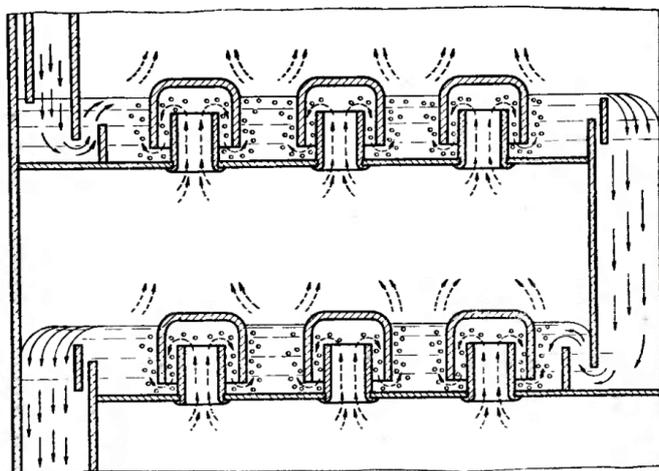


Рисунок 1 – Схема потоков в барботажной тарелке

Колпачки изготовляют круглыми и продолговатыми (туннельными). Более распространены круглые колпачки. Они бывают разных типов и отличаются размерами, способами крепления на тарелке. Их производят из стали, чугуна,

меди и алюминия. Стальные, медные и алюминиевые колпачки штампуют, чугунные – отливают. Применяют также колпачки из неметаллических материалов – керамики, пластических масс и графита [16].

- Тарелки из S-образных элементов. В нефтеперерабатывающей промышленности распространены тарелки, образованные из S-образных штампованных элементов, соединенных с помощью торцовых пластинок и снабженных трапециевидными прорезями для увеличения поверхности контактирования (рисунок 2).



Рисунок 2 – S-образные элементы

Их основные преимущества – простота конструкции и большая жесткость штампованных элементов [16].

- Ситчатая тарелка представляет собой лист с пробитыми в нем круглыми или щелевидными отверстиями диаметром (шириной) от 3 до 10 мм. Пар, проходящий в отверстия, барботирует через слой жидкости. Жидкость стекает через переливные патрубки. Скорость пара в отверстиях ситчатых тарелок принимают от 10 до 12 м/с. Разновидностью ситчатых тарелок являются проваль-ные решетчатые тарелки, в которых отсутствуют переливные патрубки и жидкость стекает в отверстия в решетке навстречу пару [16]. Отверстия в проваль-ных тарелках несколько крупнее, чем в ситчатых (рисунок 3).

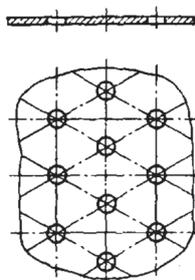


Рисунок 3 – Элемент ситчатой тарелки

- Клапанные тарелки представляют собой цельные или собранные из нескольких секций диски, в которых имеются продолговатые щели либо круглые отверстия. Щели прикрываются пластинчатыми клапанами, а отверстия – круглыми. Клапаны установлены свободно и удерживаются скобами, приваренными к поверхности тарелки.

В зависимости от напора паров клапаны приподнимаются на различную высоту в пределах, определяемых высотой удерживающих скоб.

Клапанные тарелки работают в динамическом режиме. В зависимости от напора восходящих по колонне паров клапаны поднимаются на соответствующую величину (обычно не более 10 мм), регулируя тем самым площадь свободного сечения тарелки. Это позволяет поддерживать скорость паров примерно постоянной при изменении общей нагрузки на колонну, то есть осуществлять наилучший режим ректификации [17].

Конструкция удерживающих скоб и клапанов такова, что обеспечивается их подъем с наклоном к поверхности тарелок и, следовательно, лучший барботаж паров через флегму на тарелке (рисунок 4). Для большего повышения эффективности массообмена клапаны можно снабжать тангенциально расположенными щелями; выходящие через них пары будут вращать клапан.

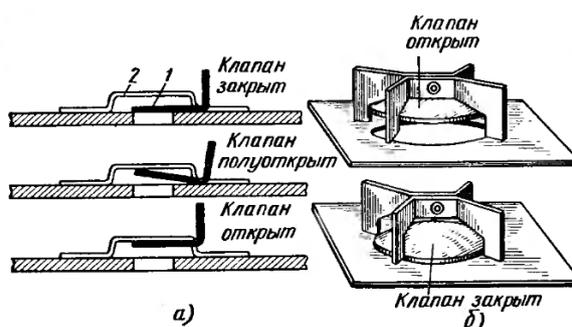


Рисунок 4 – Клапанные колпачки:

а – прямоугольный; *б* – круглый; 1 – клапан; 2 – удерживающая скоба

Важным эксплуатационным показателем клапанных тарелок является вес каждого клапана, который подбирают таким образом, чтобы при возможных колебаниях нагрузок клапан работал в заданном диапазоне подъема. В тех слу-

чаях, когда возможны очень большие изменения нагрузок, тарелки снабжают одновременно клапанами различного веса. В таких тарелках при малых нагрузках открываются легкие клапаны, а затем, по мере нарастания нагрузок, – более тяжелые [18].

Клапанные тарелки, в сравнении с колпачковыми, имеют меньшую массу и меньшую склонность к загрязнениям, повышенную пропускную способность, более высокую эффективность массопередачи в широком диапазоне нагрузок по газу (пару) и жидкости.

Тарелки в колонне необходимо устанавливать строго горизонтально, так как при перекосе над некоторой частью колпачков снижается уровень жидкости. В этом месте сопротивление проходу пара снижается, в результате чего именно через эти колпачки устремляется основной поток пара. Это явление резко снижает эффективность тарелки. По этой причине не допускается коробление тарелок и прогиб их под действием собственной силы тяжести и силы тяжести жидкости [19].

1.3 Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ

Перегонка нефти является основным процессом нефтепереработки. Первыми в цепочке процессов по переработке нефти стоят процессы обессоливания нефти и атмосферной (вакуумной) перегонки на установках ЭЛОУ-АТ (ЭЛОУ-АВТ) [20].

Вопросам увеличения эффективности работы и интенсификации установок ЭЛОУ-АВТ всегда уделялось повышенное внимание так как, в первую очередь, от работы данной установки зависит качество и выход получаемых фракций нефти, а также технико-экономические показатели всего технологического процесса переработки нефти на НПЗ.

Цель перегонки нефти на АВТ заключается в разделении сырой нефти на базовые нефтепродукты для дальнейшей переработки или использования в качестве товарной продукции [21].

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Обессоленная нефть с ЭЛОУ поступает на установку атмосферно-вакуумной перегонки нефти.

Атмосферная перегонка предназначена для отбора светлых нефтяных фракций: бензиновой, керосиновой, легкой и тяжелой дизельных, выкипающих до 360 °С.

Остаток атмосферной перегонки – мазут.

Перегонка нефти осуществляется с помощью двукратного испарения по двухколонной схеме. Первая отбензинивающая колонна служит для выделения газа и наиболее легких фракций, вторая – является основной атмосферной колонной [22].

Вакуумная перегонка нефти предназначена для переработки мазута в широкую масляную фракцию (вакуумный газойль).

Остаток вакуумной перегонки – гудрон.

Масляные фракции отбираются под вакуумом, поскольку при температуре свыше 380 °С начинается термическое разложение углеводородов (крекинг), учитывая, что конец кипения вакуумного газойля – 520 °С и более. Поэтому перегонку ведут при остаточном давлении до 60 мм рт. ст., позволяя снизить максимальную температуру в аппарате до 380 °С.

Разряжение (остаточное давление) в колонне создается при помощи специального технологического оборудования, ключевыми аппаратами которых являются паровые или жидкостные эжекторы [23].

Установки АТ и АВТ часто комбинируются с установками обессоливания нефти и вторичной переработки бензинов.

Топливные фракции, получаемые на установках АВТ, являются компонентами товарной продукции или служат сырьем для вторичной переработки. Из них вырабатываются практически все компоненты моторных топлив, смазочных масел, сырье для вторичных процессов и для нефтехимических производств.

От высокотехнологичности вторичных процессов зависит глубина пере-

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

работки нефти (ГПН), являющаяся одним из важнейших показателей эффективности нефтеперерабатывающего завода, который характеризует эффективность использования сырья [8].

ГПН определяется как суммарный выход в процентах на нефть всех нефтепродуктов, кроме непревращенного остатка. Однако выход непревращенного остатка зависит также от качества нефти и от направления его использования: в качестве котельного топлива, сырья для производства битума и т. д.

В условиях переработки нефти, одним из вероятных средств повышения производства высококачественных продуктов служит качественная подготовка сырья для главной атмосферной колонны, в процессе первичной переработки нефти.

Основное направление – модернизация технологических схем, режимов и конструктивного выполнения блоков отбензинивания нефти, входящих в состав установок АТ или АВТ.

В настоящее время не все технологические схемы и режимы, а также конструкции отбензинивающих колонн позволяют удовлетворительно, качественно и с наименьшими энергозатратами проводить процесс подготовки нефти.

Одним из вопросов технологии отбензинивания нефти является обеспечение полного отбора газов и легких бензиновых фракций при минимальных энергозатратах, которые определяются суммой тепла вносимого с обессоленной нефтью и горячей струей.

Так, например, автором [24] предложен вариант модернизации отбензинивающей колонны, а также установки в целом.

Суть модернизации: устанавливается дополнительный блок улавливания низкокипящих компонентов бензина, при этом блок конденсации подключается к блоку улавливания, где сборная емкость снабжена газовым и жидкостным отводами для вывода газовой и жидкой фаз в виде неконденсирующихся газов и жидких углеводородов.

					VKP.161856.180301.ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- второй – замена действующих контактных устройства – щелевидных тарелок на более эффективные – клапанные тарелки, благодаря чему произойдет улучшение массообменных и гидродинамических характеристик колонны за счет интенсификации массообмена и снижения гидравлического сопротивления тарелки, а также регулирование удельного живого сечения тарелки в ее центральной части и вблизи корпуса колонны.

Главным критерием предприятий в рассмотрении любой модернизации является ее экономическая выгода, поэтому рассмотрим второй вариант более подробно, поскольку первый вариант требует больших материальных вложений.

Экономичность предлагаемой технологии обеспечивается конструктивными особенностями внедряемого контактного устройства, поскольку клапанные крышки просты в оформлении и их можно изготавливать в условиях предприятия.

Устройство внедряемого контактного устройства: контактная тарелка снабжена полотном для приема на нем потока жидкости, множество отверстий для прохождения сквозь них восходящего пара и множество клапанных крышек. Каждая крышка установлена над соответствующим отверстием и имеет центральный участок, расположенный на определенном расстоянии от полотна тарелки. Крышка имеет одну направляющую лопатку, проходящую в боковом направлении и вниз от центрального участка к полотну тарелки для отклонения части пара, поднимающегося сквозь отверстие.

Некоторые из клапанных крышек имеют пару ножек, проходящих от противоположных концов центрального участка к полотну тарелки, и пару панелей. Каждая панель проходит между соответствующей одной из пары ножек и направляющей лопаткой для отклонения части пара [25].

Ожидаемый технический результат:

- легкость установки тарелки (обусловлена конструктивными особенностями крышки клапана и возможностью ее установки на месте);

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- увеличение производительности тарелки (за счет увеличения площади поверхности контакта фаз в барботажном слое, жидкость не стекает через отверстия даже при низком расходе газа);
- увеличение глубины переработки нефти (за счет увеличения объема перерабатываемого сырья и улучшения качества нефтепродуктов, достигаемых модернизацией тарелки).

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Характеристика сырья, материалов и полупродуктов

Данные, характеризующие исходное сырье, материалы, полупродукты и энергоресурсы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика сырья, материалов, полупродуктов, энергоресурсов

Наименование сырья, материалов, полупродуктов, энергоресурсов	Национальный стандарт, технические условия, регламент или методика на подготовку сырья, стандарт организации	Показатели, обязательные для проверки, единица измерения	Регламентируемые показатели	
1	2	3	4	
СЫРЬЕ				
1. Нефть сырая	ГОСТ Р 51858		Нефть западно-сибирская	Нефть сахалинская
		1. Плотность, кг/см ³ , при 20 °С	833,0-837,0	893,0-900,0
		2. Кинематическая вязкость мм ² /с, при 50 °С	2,0-3,7	5,0-11,0
		3. Температура застывания, °С	минус 15	минус 5
		4. Содержание, % по массе		
		– парафинов	2,2	2,11
		– серы общей	0,63	0,29
		– асфальтенов	2,0-6,0	0,52
		– смол силикагелевых	7,5-10,0	11,0
		5. Коксуемость, % по массе	2,0	2,37
		6. Кислотное число, мг КОН/г	0,1	0,54
7. Содержание механических примесей, % по массе	0,006			
8. Содержание хлористых солей, мг/дм ³	не более 40			
9. Содержание воды, % по массе	не более 0,5			

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Игошина А.А.				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Лескова С. А.				У	19	78
Консульт.					АМГУ ИФФ зр. 718-оБ		
Н. контр.	Родина Т. А.						
Зав. каф.	Гцжель Ю. А.						

*Модернизация атмосферной
ректификационной колонны
установки ЭЛОУ-АВТ*

1	2	3	4
ПОДГОТОВЛЕННОЕ СЫРЬЕ			
2. Нефть сырая	СТО № П1-02.02 СП-0228 ЮЛ- 014 версия 2.01	1. Массовая доля воды, %, не более	0,5
3. Нефть обессоленная	СТО № П1-02.02 СП-0146 ЮЛ- 014 версия 2.01	1. Содержание хлористых солей, мг/дм ³ , не более	2,0
		2. Массовая доля воды, %, не более	0,2
		2. Массовая доля механических примесей, %, не более	1,0
4. Газовая «головка»	СТО № П1-02.02 СП-0176 ЮЛ- 014 версия 3.00	1. Массовая доля суммы углеводородов C ₅ и выше, %, не более	2,0
МАТЕРИАЛЫ			
5. Натр едкий технический марки ТР	ГОСТ Р 55064-2012	1. Массовая доля гидрооксида натрия, %, не менее	98,5
		2. Внешний вид	Чешуированная масса белого цвета, допускается слабая окраска
6. Нейтрализатор «Геркулес 54505» марка «А»	ТУ 38.401-58-238	1. Плотность, г/см ³ , при 20 °С, в пределах	0,850÷0,890
		2. Температура застывания, °С, не выше	минус 40
		3. Нейтрализующая способность л/г-экв HCl, не выше	0,300
		4. Внешний вид	Однородная прозрачная жидкость от бесцветного до янтарного цвета
7. Ингибитор коррозии «Геркулес 30617» марка «А»	ТУ 38.401-58-237	1. Плотность, г/см ³ , при 15 °С, в пределах	0,8834÷0,9533
		2. Температура застывания, °С, не выше	минус 40
		3. Внешний вид	Однородная жидкость от светло-коричневого до коричневого цвета
8. Дезэмульгатор «Геркулес 1017»	ТУ 38.401-58-225	1. Плотность, г/см ³ , при 20 °С,	0,920 ± 0,015
		2. Температура застывания, °С, не выше	минус 50
		3. Внешний вид	Жидкость светло-коричневого цвета
		4. Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 20 °С, не более	20

2.2 Производимая продукция и область ее применения

Характеристика производимой продукции, основные свойства и область ее применения, согласно нормативно-технической документации, приведена в таблице 2 [1].

Таблица 2 – Характеристика производимой продукции, основные свойства и область ее применения

Наименование продукта	Основные свойства выпускаемой продукции			Область применения
	Показатель	Нормированное значение	Единица измерения	
1	2	3	4	5
Прямогонный бензин	Фракционный состав (ГОСТ 2177):			Используется в качестве сырья БПФПБ УКР;
	• Температура начала перегонки, ниже	30	°C	
	10 % перегоняется при температуре, не выше	-	°C	
	50 % перегоняется при температуре, не выше	-	°C	
	90 % перегоняется при температуре, не выше	-	°C	
	• Конец кипения компонента, не выше	180	°C	
	Плотность при 20 °C, не более (ГОСТ 39000)	750	кг/м ³	
Прямогонный бензин	Фракционный состав (ГОСТ 2177):			Используется как компонент бензина прямой перегонки (нафта).
	• Температура начала перегонки, не ниже	30	°C	
	10 % перегоняется при температуре, не выше	100	°C	
	50 % перегоняется при температуре, не выше	130	°C	
	90 % перегоняется при температуре, не выше	175	°C	

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
	• Конец кипения компонента, не выше	200	°С	
	Плотность при 20 °С, не более (ГОСТ 39000)	Не нормируется	кг/м ³	
Компонент топлива для реактивных двигателей марки ТС-1	Фракционный состав (ГОСТ 2177):			Используется для приготовления топлива для реактивных двигателей марки ТС-1 по ГОСТ 10227.
	• Температура начала перегонки, не выше	150	°С	
	10 % перегоняется при температуре, не выше	165	°С	
	50 % перегоняется при температуре, не выше	195	°С	
	90 % перегоняется при температуре, не выше	230	°С	
	98 % перегоняется при температуре, не выше	250	°С	
	Плотность при 20 °С, не более (ГОСТ 39000)	780	кг/м ³	
	Вязкость кинематическая при 20 °С, не менее (ГОСТ 33)	1,3	сСт	
Компонент дизельного топлива летнего	Плотность при 20 °С, не более (ГОСТ 39000)			Используется для приготовления большого ассортимента дизельных и судовых топлив, а также в качестве сырья установки гидроочистки дистиллятов.
	- при содержании в сырье более 15 % сахалинской нефти	875	кг/м ³	
	- при содержании в сырье менее 15 % сахалинской нефти	860	кг/м ³	
	Фракционный состав (ГОСТ 2177):			
	50 % перегоняется при температуре, не выше	280	°С	
	90 % перегоняется при температуре, не выше	360	°С	

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Компонент дизельного топлива зимнего	Плотность при 20 °С, не более (ГОСТ 39000)	875	кг/м ³	Используется как компонент для приготовления дизельного топлива зимнего по ГОСТ 305.
	Фракционный состав (ГОСТ 2177): 95 % перегоняется при температуре, не выше	360	°С	
Компонент судового топлива (атмосферный газойль)	Плотность при 20 °С, не более (ГОСТ 39000)	890	кг/м ³	Используется для приготовления топлива маловязкого судового по ТУ 38.101567-05 и мазута флотского марки Ф5 по ГОСТ 10585-99.
	Фракционный состав (ГОСТ 2177): 95 % перегоняется при температуре, не выше	Не нормируется	°С	
	Кинематическая вязкость при 20 °С, не менее (ГОСТ 33)	Не нормируется	мм ² /с	
Вакуумный газойль	Плотность при 20 °С, не более (ГОСТ 39000)	Не нормируется	кг/м ³	Используется в качестве компонента топочного мазута по ГОСТ 10585, компонента топлива нефтяного тяжелого экспортного по СТО № 74558829-0500-2015
	Температура вспышки в закрытом тигле, не ниже (ГОСТ 6356)	61	°С	
	Содержание коксового остатка, не более (ЕН ИСО 10370): • как компонент товарного топлива; • при режиме работы вакуумного блока, для получения гудрона в качестве сырья УЗК	0,4 0,5	% по массе	
Компонент мазута	Плотность при 20 °С, не более (ГОСТ 39000)	930	кг/м ³	Используется как сырье вакуумного блока ЭЛОУ-АВТ-2 и ЭЛОУ-АВТ-3, компонент топочного
	Температура вспышки в открытом тигле, не ниже (ГОСТ 4333)	90	°С	

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Фракция пропан-бутановая	Массовая доля компонентов, не менее (ГОСТ 10679): • Сумма бутанов и бутиленов	60	%	Используется в качестве газа углеводородного сжиженного топливного для коммунально-бытового назначения по ГОСТ 20448 и в качестве газа углеводородного сжиженного топливного по ГОСТ Р 52087
	Массовая доля сероводорода и меркаптановой серы, не более (ГОСТ 22985) в т.ч. сероводорода	0,013 0,003	%	
Фракция керосиновая	Плотность при 20 °С, не более (ГОСТ 39000)	Не нормируется	кг/м ³	Используется в качестве компонента товарных дизельных топлив
	Температура вспышки в закрытом тигле, не ниже (ГОСТ 6356)	Не нормируется	°С	
Гудрон	Плотность при 20 °С, не более (ГОСТ 39000)	Не нормируется	кг/м ³	Используется как сырье установки замедленного коксования;
	Фракционный состав (АСМ Д 1160): при температуре 500 °С	5-10	% об.	
	Плотность при 20 °С, не более (ГОСТ 39000)	Не нормируется	кг/м ³	Используется как компонент товарного мазута
	Фракционный состав (АСМ Д 1160): при температуре 500 °С	5-10	% об.	
Углеводородный газ	Содержание сероводорода, не более (методика №М62 АГЖ1)	0,3	% об.	Используется в качестве топливного газа
	Углеводородный состав, не более (ГОСТ 14920) Сумма бутанов и выше	50,0	% по массе	

2.3 Описание технологической схемы блока атмосферной перегонки

Технологическая схема установки представлена на рисунке 5.

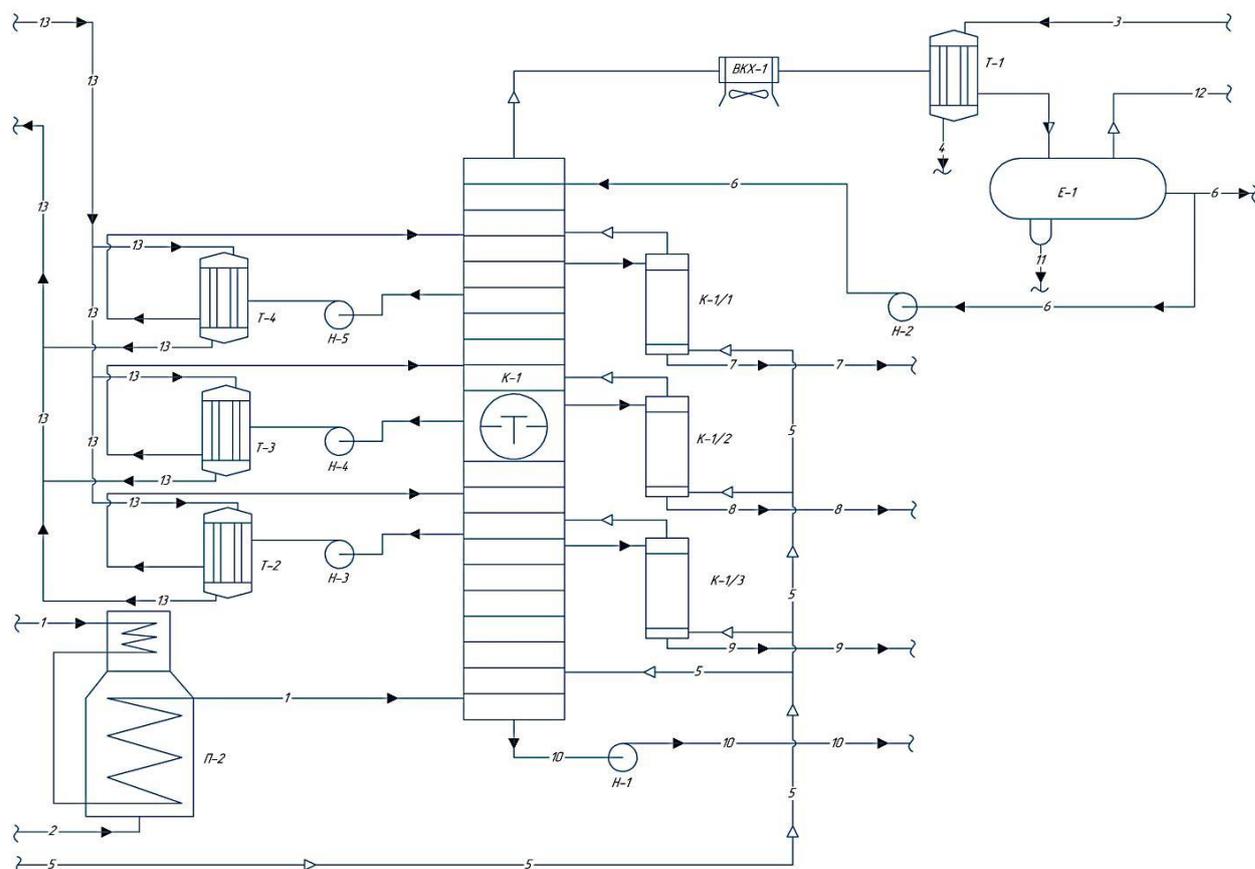


Рисунок 5 – Технологическая схема атмосферного блока установки

ЭЛОУ-АВТ:

К-1 – колонна ректификационная; Т-1, 2, 3, 4 – теплообменные аппараты (холодильники); П-1 – печь; ВКХ-1 – воздушный конденсатор-холодильник; Е-1 – емкость; Н-1, 2, 3, 4, 5 – насосы; К-1/1 – стриппинг керосиновой фракции; К-1/2 – стриппинг легкого дизельного топлива; К-1/3 – стриппинг тяжелого дизельного топлива; 1 – отбензиненная нефть; 2 – топливо; 3 – вода оборотная (подача); 4 – вода оборотная (отвод); 5 – водяной пар; 6 – бензин прямогонный; 7 – керосиновая фракция; 8 – дизельное топливо легкое; 9 – дизельное топливо тяжелое; 10 – мазут; 11 – вода; 12 – газ; 13 – сырая нефть

Основная атмосферная колонна К-1 служит для разделения отбензиненной нефти на целевые фракции и мазут, направляемый на дальнейшую перера-

ботку в вакуумный блок установки.

Режим работы основной атмосферной колонны К-1:

- температура верха 120 °С;
- температура куба 360 °С;
- давление верха 0,17 МПа (1,7 кгс/см²);
- давление куба колонны 0,22 МПа (2,2 кгс/см²);
- сырье подается в куб колонны.

Предварительно отбензиненная нефть направляется в печь П-1, где происходит нагрев частично отбензиненной нефти. Из печи П-1 частично отбензиненная нефть в парожидкостном состоянии, с температурой не менее 360 °С поступает в атмосферную колонну К-1 в куб колонны.

Для снижения парциального давления нефтяных паров и отпарки легкокипящих фракций, в куб колонны К-1 подается перегретый водяной пар с расходом до 1000 кг/ч. Подача перегретого водяного пара прекращается при превышении давления верха колонны К-1 более 0,5 МПа.

С верха колонны К-1 пары бензина прямогонного (фракция НК-130 °С) и углеводородные газы вместе с водяным паром поступают в конденсаторы-холодильники воздушного охлаждения ВКХ-1, где происходит конденсация основной части паров. Конденсат и несконденсированные пары и газы с температурой не более 110 °С поступают в холодильник Т-1, где они доохлаждаются оборотной водой, далее поступают в рефлюксную емкость Е-1.

Нестабильный прямогонный бензин (фракция НК-130 °С) из емкости Е-1 с температурой не более 80 °С поступает на прием насоса Н-2, который подает его в виде острого орошения в верхнюю часть колонны К-1 (не более 120 °С). Балансовый избыток нестабильного прямогонного бензина (фракция НК-130 °С) откачивается из Е-1 насосом через пластинчатый теплообменник, где он нагревается до температуры не менее 120 °С за счет утилизации тепла стабильного бензина выводимого с низа колонны К-4, и подается в стабилизационную колонну К-4 на восьмую тарелку.

										Лист
										27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ВКР.161856.180301.ПЗ

Из атмосферной колонны К-1 осуществляется вывод следующих компонентов:

- бензин прямогонный (фракция НК-180 °С);
- фракция керосиновая (фракция от 180 °С до 240 °С) – возможен вывод данной фракции в качестве компонента топлива для реактивных двигателей марки ТС-1;
- компонент дизельного топлива легкого (фракция от 240 °С до 280 °С);
- компонент дизельного топлива тяжелого (фракция от 280 °С до 350 °С);
- компонент мазута (фракция выше 350 °С).

В атмосферной колонне К-1 предусмотрено три циркуляционных орошения (ЦО).

I ЦО отбирается из кармана верхней «глухой» тарелки колонны К-1. Насосом Н-5 прокачивается через теплообменник Т-4, где отдает свое тепло обессоленной и сырой нефти, доохлаждается в воздушном холодильнике до температуры не более 100 °С и возвращается на 32 тарелку колонны К-1.

II ЦО отбирается из кармана средней «глухой» тарелки колонны К-1. Насосом Н-4 прокачивается через теплообменник Т-3, где отдает свое тепло обессоленной и сырой нефти, доохлаждается в воздушных холодильниках до температуры не более 150 °С и возвращается на 24 тарелку К-1.

III ЦО отбирается из кармана нижней «глухой» тарелки колонны К-1. Насосом Н-3 прокачивается через теплообменник подогрева нефти Т-2, где отдает тепло обессоленной и сырой нефти. Далее доохлаждается в воздушных холодильниках до температуры не более 200 °С и возвращается на 12 тарелку колонны К-1.

С верха колонны К-1 выводится нестабильный прямогонный бензин (фракция НК-130 °С) в рефлюксную емкость Е-1.

Фракция керосиновая (фракция от 120 °С до 240 °С), компонент дизельного топлива легкого (фракция от 240 °С до 300 °С), компонент дизельного топ-

									Лист
									28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР.161856.180301.ПЗ				

лива тяжелого (фракция от 300 °С до 350 °С) выводятся из колонны К-1 в виде боковых погонов и поступают, соответственно, в стриппинги К-1/1, К-1/2, К-1/3. Из куба колонны К-1 отбирается компонент мазута (фракция выше 350 °С).

Из кармана 32 тарелки фракция керосиновая (фракция от 120 °С до 240 °С) перетекает на верхнюю тарелку стриппинга керосина К-1/1. Далее фракция с низа стриппинга К-1/1 поступает в рибойлер с паровым пространством для отпарки легких фракций. По линии возврата паров, легкие фракции возвращаются первоначально в К-1/1, а оттуда уже в колонну К-1 на 34 тарелку.

Керосиновая фракция (фракция от 120 °С до 240 °С) с температурой не более 250 °С прокачивается последовательно через теплообменники, где отдает свое тепло обессоленной и сырой нефти, доохлаждается в воздушных холодильниках и выводится с установки.

Компонент дизельного топлива легкого (фракция от 240 °С до 300 °С) отбирается из кармана 22-й тарелки колонны К-1 и перетекает на верхнюю тарелку стриппинга керосина К-1/3. Часть возвращается в колонну К-1 на 24 тарелку в качестве промывного агента для возможности контроля и регулирования цвета компонента судового топлива. Остальная часть прокачивается последовательно через теплообменники, доохлаждается в воздушном холодильнике и с температурой не более 90 °С выводится с установки.

Из кармана 10 тарелки колонны К-1, компонент дизельного топлива тяжелого (фракция от 300 °С до 360 °С) перетекает на верхнюю тарелку стриппинга К-1/2. Легкие углеводороды из К-3/2 возвращаются под 12 тарелку колонны К-1. С низа стриппинга К-1/2 компонент дизельного топлива тяжелого поступает на прием насоса.

Для регулирования температуры вспышки компонента дизельного топлива зимнего, в нижнюю часть стриппинга К-1/2 подается перегретый водяной пар из пароперегревателя печи П-1. Установленный на этой же линии клапан-отсекатель блокирует подачу водяного пара при температуре куба выше 290 °С.

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

С куба колонны К-1 компонент мазута с температурой не более 370 °С откачивается насосом в вакуумный блок.

2.4 Технологический расчет

Технологический расчет ректификационной колонны выполняется согласно методике [26].

2.4.1 Материальный баланс колонны

Материальный баланс ректификационной колонны составляется исходя из равенства количеств подаваемого сырья и выходящих продуктов, выражаемый обычно массовым или объемным расходом.

Атмосферная ректификационная колонна по периодичности действия является непрерывной. На основании производственных данных по фактическому рассчитаем материальный баланс колонны с производительностью по сырью 30000 кг/ч.

Физико-химические свойства сырья

Состав и характеристики сырья представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Состав и характеристики сырья

Фракция	Температуры кипения узких фракций, °С	Выход фракции, % по массе	Относительная плотность узких фракций	Молярная масса узких фракций, г/моль
1	2	3	4	5
1	Газ до С ₄	0,55	-	51
2	28 - 60	1,99	0,6568	89
3	60 - 93	2,97	0,7051	93
4	93 - 110	3,41	0,7292	102
5	110 - 142	3,56	0,7425	117
6	142 - 163	2,94	0,7595	132
7	163 - 178	3,32	0,7720	135
8	178 - 195	1,57	0,7869	158
9	195 - 221	1,20	0,7968	165
10	221 - 236	1,95	0,8089	186
11	236 - 256	5,98	0,8200	194
12	256 - 275	5,73	0,8283	210
13	275 - 294	5,89	0,8384	220
14	294 - 308	5,99	0,8480	242
15	308 - 326	6,02	0,8566	250

1	2	3	4	5
16	326 - 350	5,45	0,8651	272
17	350 - 362	2,98	0,8729	281
18	362 - 380	2,98	0,8834	305
19	380 - 400	3,06	0,8910	-
20	400 - 425	2,94	0,8964	340
21	425 - 448	3,02	0,9073	-
22	448 - 465	2,94	0,9147	372
23	465 - 486	3,02	0,9190	-
24	486 - 500	1,99	0,9238	415
25	Остаток	18,55	0,9383	-

Для получения удовлетворительных результатов нефть разбивают не менее чем на шесть фракций (компонентов).

Разобьем нефть на семь новых фракций (компонентов): от 28 до 60 °С, от 60 до 110 °С, от 110 до 142 °С, от 142 до 178 °С, от 178 до 236 °С, от 236 до 350 °С и остаток > 350 °С.

Средняя температура кипения компонентов t_{cp} определяется как среднее арифметическое между начальной и конечной температурой кипения фракции.

Среднюю молярную массу компонентов находим по уравнению аддитивности:

$$M_{cp} = \frac{\sum G_i}{\sum \left(\frac{G_i}{M_i} \right)}, \quad (2.1)$$

где G_i – выход узких фракций по данным разгонки нефти, % по массе (таблица 3);

M_i – молярная масса узких фракций (таблица 3).

Например, для фракции от 28 °С до 60 °С:

$$M_{28-60} = \frac{1,99}{\frac{1,99}{89}} \approx 89 \text{ г/моль}$$

Аналогично рассчитываем молярные массы для остальных фракций.

В приведенной характеристике нефти нет данных по молярной массе

остатка >350 °С. Определим ее также из уравнения аддитивности, зная среднюю молярную массу всей нефти ($M_n = 221$ г/моль) и рассчитанные средние молярные массы остальных фракций:

$$M_{\text{нефти}} = \frac{\sum G_i}{\sum \left(\frac{G_i}{M_i} \right)} \quad (2.2)$$

$$M_{\text{нефти}} = \frac{100}{\frac{2,54}{89} + \frac{6,38}{98} + \frac{3,56}{117} + \frac{6,26}{134} + \frac{4,72}{170} + \frac{35,06}{228} + \frac{41,48}{M_{>350-\text{к.к}}}} \approx 221 \text{ г/моль};$$

Выразим из этого уравнения искомую величину:

$$M_{>350-\text{к.к}} = \frac{41,48}{\frac{110}{221} - \left(\frac{2,54}{89} + \frac{6,38}{98} + \frac{3,56}{117} + \frac{6,26}{134} + \frac{4,72}{170} + \frac{35,06}{228} \right)} \approx 285 \text{ г/моль};$$

Среднюю относительную плотность компонентов определяем по данным таблицы 3 также по уравнению аддитивности:

$$\rho_{4(\text{фракции})}^{20} = \frac{\sum G_i}{\sum \left(\frac{G_i}{\rho_{4i}^{20}} \right)} \quad (2.3)$$

где ρ_{4i}^{20} – плотность *i*-ой узкой фракции по данным таблицы 1.

Например, для фракции от 60 до 110 °С:

$$\rho_{4(60-110)}^{20} = \frac{2,97 + 3,41}{\frac{2,97}{0,7051} + \frac{3,41}{0,7292}} \approx 0,7178;$$

Аналогично рассчитываем плотность для остальных фракций.

Пересчет массовых процентов в мольные осуществляем по формуле:

$$G'_i = \frac{\frac{G_i}{M_i}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{G_i}{M_i} \right)} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

Например, для фракции от 60 °С до 110 °С:

$$G'_{60-110} = \frac{\frac{6,38}{98}}{\frac{2,54}{89} + \frac{6,38}{98} + \frac{3,56}{117} + \frac{6,26}{134} + \frac{4,72}{170} + \frac{35,06}{228} + \frac{41,48}{285}} \cdot 100\% = 13,08\%$$

Аналогично рассчитываем мольные проценты для остальных фракций.

Результаты расчетов физико-химических свойств продуктов перегонки нефти приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика продуктов перегонки нефти

Фракция	Пределы выкипания фракции, °C	G_i , % по массе	t_{cp} , °C	G'_i , % мольн.	M_i	ρ_4^{20}	X'_{Fi}
1	28 - 60	2,54	44	5,73	89	0,6568	0,0573
2	60 - 110	6,38	85	13,08	98	0,7178	0,1308
3	110 - 142	3,56	126	6,11	117	0,7425	0,0611
4	142 - 178	6,26	160	9,38	134	0,7661	0,0938
5	178 - 236	4,72	207	5,58	170	0,7984	0,0558
6	236 - 350	35,06	293	30,89	228	0,8422	0,3089
7	> 350	41,48	425	29,23	285	0,8902	0,2923
Итого	-	100,00	-	100,00	-	-	1,0000

Минимальное число теоретических тарелок. Состав дистиллята и остатка

Расчет выполним методом температурной границы деления смеси.

Определяем мольный отбор дистиллята E' по отношению к сырью:

В нашем случае E' принимаем равным сумме мольных долей первых четырех фракций, которые должны пойти в дистиллят.

Мольные доли компонентов находятся из формулы:

$$X'_{Fi} = \frac{G'_i}{100} \quad (2.5)$$

$$E' = 0,0573 + 0,1308 + 0,0611 + 0,0938 = 0,3430$$

Самый тяжелый компонент, который должен пойти в дистиллят – это третий компонент от 110 до 142 °C. Задаемся степенью извлечения этого компонента в дистиллят φ_{D4} :

$$\varphi_{D4} = 0,8$$

Это говорит о том, что 80 % данного компонента от потенциального его содержания в нефти пойдет в дистиллят, поскольку, чем выше степень извлечения компонента, тем больше требуется теоретических тарелок в колонне.

Степень извлечения этого компонента в остаток φ_{W4} :

$$\varphi_{W4} = 1 - \varphi_{D4} = 0,2$$

Содержание данной фракции в дистилляте и в остатке рассчитываем по формулам:

$$X'_{D4} = \frac{\varphi_{D4} \cdot X'_{F4}}{E'} \quad (2.6)$$

$$X'_{W4} = \frac{\varphi_{W4} \cdot X'_{W4}}{1 - E'} \quad (2.7)$$

$$X'_{D4} = \frac{0,8 \cdot 0,0938}{0,3430} = 0,2188;$$

$$X'_{W4} = \frac{0,2 \cdot 0,0611}{1 - 0,2492} = 0,0286$$

Рассчитываем коэффициент распределения ψ_i этой фракции:

$$\psi_4 = \frac{X'_{D4}}{X'_{W4}} \quad (2.8)$$

$$\psi_4 = \frac{0,2188}{0,0286} = 7,65$$

Принимаем среднее давление в колонне $P_{cp} = 2,0 \text{ ат} = 0,20 \text{ МПа}$.

Определяем температурную границу деления смеси. Температурная граница – это температура T_E , находящаяся между значениями температур кипения при рабочих условиях двух фракций, лежащих по разные стороны воображаемой линии деления нефти. Эти фракции называются ключевыми. В первом приближении значение T_E можно найти как среднее арифметическое между температурами кипения этих ключевых фракций.

В нашем случае ключевыми фракциями являются четвертая и пятая фракции: от 142 °С до 178 °С и от 178 °С до 236 °С. При среднем давлении в

						ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			34

колонне P_{cp} находим температуры кипения этих фракций – T_4 и T_5 .

Для расчетов используем уравнение Ашворта.

Определяем функцию $f(T_0)$ всех фракций по формуле:

$$f(T_0) = \frac{1250}{\sqrt{T_0^2 + 108000} - 307,6} - 1, \quad (2.9)$$

где T_0 – средняя температура кипения компонента при атмосферном давлении, К:

$$T_0 = t_{cp} + 273 \quad (2.10)$$

Например, для первого компонента (28 - 60):

$$f(T_0)_1 = \frac{1250}{\sqrt{(44 + 273)^2 + 108000} - 307,6} - 1 = 7,389$$

Результаты расчетов $f(T_0)$ для всех фракций приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения параметра $f(T_0)$ компонентов

Фракция	Компонент	T_0 , К	$f(T_0)$
1	28 - 60	317	7,389
2	60 - 110	358	6,008
3	110 - 142	399	4,972
4	142 - 178	433	4,297
5	178 - 236	480	3,560
6	236 - 350	566	2,603
7	> 350	698	1,695

Вычисляем параметр $f(T)$ для ключевых фракций по формуле:

$$f(T) = f(T_0) \cdot \left(1 - \frac{\lg P_{cp}}{2,68}\right), \quad (2.11)$$

где P_{cp} – среднее давление в колонне, ат.

$$f(T)_4 = 4,297 \cdot \left(1 - \frac{\lg 2,0}{2,68}\right) = 3,814;$$

$$f(T)_5 = 3,560 \cdot \left(1 - \frac{\lg 2,0}{2,68}\right) = 3,160;$$

Находим температуры кипения третьего и четвертого ключевых компо-

нентов при среднем давлении в колонне 2,0 ат:

$$T = \sqrt{\left(\frac{1250}{f(T)+1} + 307,6\right)^2 - 108000} \quad (2.12)$$

$$T_4 = \sqrt{\left(\frac{1250}{3,814+1} + 307,6\right)^2 - 108000} = 462,4 \text{ K} = 189,4 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$T_5 = \sqrt{\left(\frac{1250}{3,160+1} + 307,6\right)^2 - 108000} = 511,6 \text{ K} = 238,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Истинная величина T_E находится между T_4 и T_5 и определяется методом подбора такого ее значения, которое удовлетворяет следующим условиям:

$$\sum_{i=1}^n X'_{Di} = 1,$$

$$\sum_{i=1}^n X'_{Wi} = 1,$$

где X'_{Di} и X'_{Wi} – мольные доли компонентов в дистилляте и в остатке соответственно.

В нашем случае температурная граница деления нефти равна:

$$T_E = 510,8 \text{ K};$$

$$f(T_E) = \frac{1250}{\sqrt{(510,8)^2 + 108000} - 307,6} - 1 = 3,17$$

Рассчитываем при температуре T_E коэффициенты относительной летучести α_i всех фракций:

$$\alpha_i = \frac{P_i}{P_{cp}}, \quad (2.13)$$

где P_i – давление насыщенных паров фракции определяем по уравнению

Ашворта при температуре T_E , ат:

$$\lg P_i = 2,68 \cdot \left(1 - \frac{f(T_E)}{f(T_0)}\right) \quad (2.14)$$

Например, для первого компонента:

$$P_1 = 10^{2,68 \cdot \left(1 - \frac{3,17}{7,389}\right)} = 33,903 \text{ ат};$$

$$\alpha_1 = \frac{33,903}{2,0} = 16,9515$$

Аналогично рассчитываем остальные компоненты.

Минимальное число теоретических тарелок в колонне:

$$N_{\min} = \frac{\lg \psi_4}{\lg \alpha_4} \quad (2.15)$$

$$N_{\min} = \frac{\lg(7,65)}{\lg(2,523)} = 2,199$$

Находим коэффициенты распределения всех фракций ψ_i :

$$\psi_i = \alpha_i^{N_{\min}} \quad (2.16)$$

Например, для первой фракции:

$$\psi_1 = 16,9515^{2,199} = 504,6946$$

Аналогично рассчитываем остальные компоненты.

Рассчитываем составы дистиллята и остатка по формулам:

$$X'_{Di} = \frac{X'_{Fi} \cdot \psi_i}{1 + E' \cdot (\psi_i - 1)} \quad (2.17)$$

$$X'_{Wi} = \frac{X'_{Fi}}{1 + E' \cdot (\psi_i - 1)} \quad (2.18)$$

Например, мольная доля первого компонента в дистилляте и остатке:

$$X'_{D1} = \frac{0,0573 \cdot 504,6946}{1 + 0,3430 \cdot (504,6946 - 1)} = 0,1664;$$

$$X'_{W1} = \frac{0,0573}{1 + 0,3430 \cdot (504,6946 - 1)} = 0,0003;$$

При верном подборе T_E выполняются следующие условия:

$$\sum_{i=1}^n X'_{Di} = 1;$$

$$\sum_{i=1}^n X'_{Wi} = 1;$$

Результаты расчета составов дистиллята и остатка представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Мольный состав дистиллята и остатка

Фракция	Пределы выкипания фракции, °С	P_i , ат	α_i	ψ_i	X'_{Di}	X'_{wi}
1	28 - 60	33,9030	16,9515	504,6946	0,1664	0,0003
2	60 - 110	18,4481	9,2240	132,3907	0,3762	0,0028
3	110 - 142	9,3608	4,6800	29,7763	0,1675	0,0050
4	142 - 178	5,0454	2,5230	7,6527	0,2199	0,0284
5	178 - 236	1,9661	0,9830	0,9630	0,0645	0,0565
6	236 - 350	0,2608	0,1300	0,0113	0,0054	0,4622
7	> 350	0,0046	0,0023	0,0000	0,0000	0,4449
Итого	-	-	-	-	0,9999	1,0010

Материальный баланс колонны

Атмосферная ректификационная колонна по периодичности действия является непрерывной. На основании производственных данных по фактическому рассчитаем материальный баланс колонны с производительностью по сырью $W' = 30000$ кг/ч.

Начнем составление материального баланса с прихода – сырья колонны. Поскольку массовый состав сырья известен, определяем массовые расходы отдельных компонентов по пропорции.

Например, массовый расход углеводородного газа:

$$\frac{30000 \cdot 0,55}{100,00} = 165,00 \text{ кг/ч}$$

Из условия известна средняя молярная масса сырья (нефти) $M_n = 221$.

Определяем мольный расход сырья:

$$\frac{30000}{221} = 135,75 \text{ кмоль/ч}$$

Мольный расход дистиллята находим из уравнения материального баланса по i -му компоненту:

$$F' \cdot X'_{Fi} = D' \cdot X'_{Di} + W' \cdot X'_{wi} \text{ ,} \quad (2.19)$$

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где F' , D' , W' – мольный расход сырья, дистиллята и остатка соответственно, кмоль/ч;

X'_{Fi} , X'_{Di} , X'_{wi} – мольные доли i -го компонента в сырье, дистилляте и остатке соответственно.

Учитывая, что

$$W' = F' - D' \quad (2.20)$$

Уравнение материального баланса для ключевого четвертого компонента будет выглядеть следующим образом:

$$135,75 \cdot 0,0938 = D' \cdot 0,2199 + (135,75 - D') \cdot 0,0284$$

Отсюда находим мольный расход дистиллята:

$$D' = 46,36 \text{ кмоль/ч}$$

Средняя молярная масса дистиллята:

$$M_D = \sum_1^n (M_i \cdot X'_{Di}) = 113 \text{ г/моль}$$

Массовый расход дистиллята:

$$D = D' \cdot M_D = 46,36 \cdot 113 = 5238,68 \text{ кг/ч}$$

Средняя молярная масса остатка:

$$M_W = \sum_1^n (M_i \cdot X'_{wi}) = 246,47 \text{ кг/кмоль}$$

Аналогично рассчитываем массовые расходы остальных компонентов.

Результаты расчета материального баланса приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Материальный баланс ректификационной колонны

Приход	% по массе на сырье	кг/ч	Расход	% по массе на сырье	кг/ч
1	2	3	4	5	6
Сахалинская нефть	51,04	15312,00	Углеводородный газ	0,55	165,00
Западно-сибирская нефть	48,96	14688,00	Бензин прямогонный	18,19	5457,00
			Керосиновая фракция	4,72	1416,00

1	2	3	4	5	6
			Летнее дизельное топливо:	6,35	1905,00
			Зимнее дизельное топливо:	28,71	8613,00
			Мазут	41,48	12444,00
Итого	100,00	30000,00	Итого	100,00	30000,00

Доля отгона сырья

Температура нефти на входе в атмосферную ректификационную колонну составляет 350 °С.

$$T_{\text{ввода}} = T_F = 623 \text{ К} = 350 \text{ °С}$$

Давление сырья на входе примем равным среднему давлению в колонне:

$$P_F = 2,0 \text{ ат} = 0,20 \text{ МПа}$$

При данной температуре сырье находится в парожидкостном состоянии, поэтому определяется доля отгона сырья и компонентный состав паровой и жидкой фазы.

Расчет доли отгона выполняем путем последовательного приближения, подбираем такое значение мольной доли отгона сырья e' , при котором выполняется тождество:

$$\sum \frac{X'_{Fi} \cdot k_i}{1 + e' \cdot (k_i - 1)} = \sum y'_i = 1, \quad (2.21)$$

$$x'_i = \frac{y'_i}{k_i}, \quad (2.22)$$

где e' – мольная доля отгона;

X'_{Fi} – мольная доля i -го компонента в сырье колонны (нефти);

y'_i – мольная доля i -го компонента в паровой фазе сырья;

x'_i – мольная доля i -го компонента в жидкой фазе сырья;

k_i – константа фазового равновесия i -го компонента при температуре и давлении сырья на входе:

									Лист
									40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР.161856.180301.ПЗ				

$$k_i = \frac{P_i}{P_F}, \quad (2.23)$$

где P_i – давление насыщенных паров i -го компонента при температуре ввода сырья. Определяется по уравнению Ашворта.

Рассчитываем при $T_F = 623$ К функцию $f(T_F)$:

$$f(T_F) = \frac{1250}{\sqrt{(623)^2 + 108000}} - 1 = 2,15$$

Определяем по уравнению Ашворта давление насыщенных паров всех компонентов при температуре ввода сырья T_F :

$$\lg P_i = 2,68 \cdot \left(1 - \frac{f(T_F)}{f(T_0)} \right) \quad (2.24)$$

Например, для первого компонента:

$$P_1 = 10^{2,68 \cdot \left(1 - \frac{2,15}{7,389} \right)} = 79,468 \text{ ат};$$

$$k_1 = \frac{79,468}{2,0} = 39,734$$

Аналогично рассчитываем данные показатели для остальных компонентов.

Результаты расчета констант фазового равновесия компонентов на входе представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Рассчитанные константы фазового равновесия компонентов на входе

Фракция	Компонент	T_0 , К	$f(T_0)$	P_i , ат	k_i
1	28 - 60	317	7,389	79,468	39,734
2	60 - 110	358	6,008	52,595	26,298
3	110 - 142	399	4,972	33,198	16,599
4	142 - 178	433	4,297	21,831	10,916
5	178 - 236	480	3,560	11,520	5,760
6	236 - 350	566	2,603	2,927	1,464
7	> 350	698	1,695	0,191	0,096

Задаемся значением мольной доли отгона e' в следующих пределах:

$$0 < e' < 1$$

Расчет показал, что мольная доля отгона $e' = 0,658$.

Средняя молярная масса паровой фазы сырья:

$$M_y = \sum (y_i' \cdot M_i) = 167,3 \approx 167 \text{ г/моль}$$

Средняя молярная масса жидкой фазы сырья:

$$M_x = \sum (x_i' \cdot M_i) = 265,1 \approx 265 \text{ г/моль}$$

Массовая доля отгона сырья:

$$e = e' \cdot \frac{M_y}{M_n} = 0,658 \cdot \frac{167}{265} = 0,415,$$

где $M_n = 221$ г/моль – средняя молярная масса сырья (нефти).

Результаты расчета доли отгона сырья на входе в колонну представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет доли отгона сырья на входе в колонну

Компонент	X_{Fi}'	M_i	$\frac{X_{Fi}' \cdot k_i}{1 + e' \cdot (k_i - 1)} = y_i'$	x_i'	$y_i' \cdot M_i$	$x_i' \cdot M_i$
28 - 60	0,0573	89	0,0860	0,0022	7,6540	0,1958
60 - 110	0,1308	98	0,1950	0,0074	19,1100	0,7252
110 - 142	0,0611	117	0,0900	0,0054	10,5300	0,6318
142 - 178	0,0938	134	0,1360	0,0126	18,2240	1,6884
178 - 236	0,0558	170	0,0780	0,0136	13,2600	2,3120
236 - 350	0,3089	228	0,3460	0,2399	78,8880	54,6972
> 350	0,2923	285	0,0690	0,7189	19,6650	204,8865
Итого	1,0000	-	1,0000	1,0000	167,3310	265,1369

Определение минимального флегмового числа

Минимальное флегмовое число R_{min} определяется по уравнениям Андервуда:

$$\sum \frac{\alpha_i \cdot X_{Di}'}{\alpha_i - \Theta} = R_{min} + 1, \quad (2.25)$$

где α_i – коэффициент относительной летучести i -го компонента по отношению к ключевому компоненту:

$$\alpha_i = \frac{P_i}{P_k}, \quad (2.26)$$

где P_i – давление насыщенных паров при температуре ввода сырья;

P_k – давление насыщенных паров ключевого компонента (которым задавались в начале расчета);

Θ – корень уравнения Андервуда. Обычно его величина находится между значениями α_i ключевых компонентов.

q – отношение количества тепла Q , которое надо сообщить сырью, чтобы перевести его в парообразное состояние, к скрытой теплоте испарения сырья $Q_{исп}$:

$$q = \frac{Q}{Q_{исп}} = \frac{J_n - J_c}{J_n - J_{ж}}, \quad (2.27)$$

где J_c – энтальпия сырья при температуре ввода;

J_n – энтальпия насыщенных паров сырья;

$J_{ж}$ – энтальпия жидкой части сырья при температуре кипения.

В нашем случае сырье вводится в парожидкостном состоянии, поэтому:

$$\sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Fi}}{\alpha_i - \Theta} = e' = 0,658$$

Определяем коэффициенты относительной летучести. Например, для первого компонента:

$$\alpha_1 = \frac{P_1}{P_4} = \frac{79,468}{21,831} = 3,640$$

Для пятого компонента:

$$\alpha_5 = \frac{P_5}{P_4} = \frac{11,520}{21,831} = 0,528$$

Корень уравнения Θ находится в пределах:

$$\alpha_4 < \Theta < \alpha_5$$

Результаты расчета минимального флегмового числа представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет минимального флегмового числа

Компонент	X'_{Fi}	P_i , ат	α_i	$\frac{\alpha_i \cdot X'_{Fi}}{\alpha_i - \Theta}$	X'_{Di}	$\frac{\alpha_i \cdot X'_{Di}}{\alpha_i - \Theta}$
28 - 60	0,0573	79,468	3,640	0,073	0,1664	0,212
60 - 110	0,1308	52,595	2,409	0,194	0,3762	0,559
110 - 142	0,0611	33,198	1,521	0,127	0,1675	0,348
142 - 178	0,0938	21,831	1,000	0,443	0,2199	1,039
178 - 236	0,0558	11,520	0,528	-0,113	0,0645	-0,131
236 - 350	0,3089	2,927	0,134	-0,063	0,0054	-0,001
> 350	0,2923	0,191	0,009	-0,003	0,0001	-0,000
Итого	1,0000	-	-	0,658	1,0000	2,026

Методом подбора определяем, что корень уравнения Андервуда равен:

$$\Theta = 0,7883$$

Значение корня $\Theta = 0,7883$ подставляем во второе уравнение:

$$\sum \frac{\alpha_i \cdot X'_{Di}}{\alpha_i - \Theta} = R_{\min} + 1 \quad (2.28)$$

Минимальное флегмовое число:

$$R_{\min} = 2,026 - 1 = 1,026$$

Оптимальное флегмовое число. Оптимальное число теоретических тарелок

ЛОК

Оптимальные значения числа теоретических тарелок и флегмового числа поределаем по приближенным уравнениям:

$$R_{opt} = 1,35 \cdot R_{\min} + 0,35 \quad (2.29)$$

$$R_{opt} = 1,35 \cdot 1,026 + 0,35 = 1,7351;$$

$$N_{opt} = 1,7 \cdot N_{\min} + 0,7 \quad (2.30)$$

$$N_{opt} = 1,7 \cdot 11,87 + 0,7 = 21;$$

Рабочее число тарелок

Определяем минимальное число теоретических тарелок в концентрационной части колонны ($N_{\min}^{конц}$):

$$N_{\min}^{\text{конц}} = \frac{\lg\left(\frac{X'_{D4}}{X'_{F4}} \cdot \frac{X'_{F5}}{X'_{D5}}\right)}{\lg \frac{\alpha_4}{\alpha_5}}, \quad (2.31)$$

где α_4 и α_5 – коэффициенты относительной летучести компонентов при температуре ввода сырья (таблица 10).

$$N_{\min}^{\text{конц}} = \frac{\lg\left(\frac{0,2199}{0,0938} \cdot \frac{0,0558}{0,0645}\right)}{\lg \frac{1,0000}{0,5280}} = 4,5 \approx 5$$

Оптимальное число теоретических тарелок в верхней части колонны

$$\frac{N_{\min}^{\text{конц}}}{N_{\min}} = \frac{N_{\text{опт}}^{\text{конц}}}{N_{\text{опт}}} \quad (2.32)$$

Отсюда:

$$N_{\text{опт}}^{\text{конц}} = \frac{N_{\min}^{\text{конц}} \cdot N_{\text{опт}}}{N_{\min}} \quad (2.33)$$

$$N_{\text{опт}}^{\text{конц}} = \frac{4,5 \cdot 21}{11,87} = 7,961 \approx 8$$

Рабочее число тарелок в колонне:

$$N_{\text{раб}} = \frac{N_{\text{опт}}}{\eta_{\text{тарелок}}}, \quad (2.34)$$

где $\eta_{\text{тарелок}}$ – к.п.д. тарелки, равное 0,65.

$$N_{\text{раб}} = \frac{21}{0,65} = 33$$

Рабочее число тарелок в верхней, концентрационной части колонны:

$$N_{\text{раб}}^{\text{конц}} = \frac{N_{\text{опт}}^{\text{конц}}}{\eta_{\text{тар}}} = \frac{7,961}{0,65} = 12,2 \approx 13$$

Рабочее число тарелок в нижней, отгонной части колонны:

$$N_{\text{раб}}^{\text{отг}} = N_{\text{раб}} - N_{\text{раб}}^{\text{конц}} = 33 - 13 = 20$$

Таким образом, в колонне должно быть 33 рабочих тарелки, нефть необходимо вводить в колонну между пятой и шестой тарелкой, считая снизу.

Внутренние материальные потоки

1) Верхняя часть колонны:

Количество флегмы, стекающей с тарелок верхней части колонны:

$$L_6 = R_{omm} \cdot D = 1,7351 \cdot 5238,68 = 9089,63 \text{ кг/ч}$$

Количество паров, поднимающихся с тарелок верхней части колонны:

$$G_6 = L_6 + D = 9089,63 + 5238,68 = 14328,31 \text{ кг/ч}$$

Объем паров:

$$V_6 = \frac{22,4 \cdot G_6 \cdot T_6 \cdot P_{атм}}{3600 \cdot M_D \cdot 273 \cdot P_6}, \quad (2.35)$$

где $T_6 = 393 \text{ К}$ – температура верха колонны;

$M_D = 113 \text{ г/моль}$ – средняя молярная масса дистиллята;

$P_6 = 1,7 \text{ ат}$ – давление вверху колонны.

$$V_6 = \frac{22,4 \cdot 14328,31 \cdot 393 \cdot 1}{3600 \cdot 113 \cdot 273 \cdot 1,7} = 0,668 \text{ м}^3/\text{с} = 2404,8 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Плотность паров:

$$\rho_n^6 = \frac{G_6}{3600 \cdot V_6} = \frac{14328,31}{3600 \cdot 0,668} = 5,958 \text{ кг/м}^3$$

Относительная плотность флегмы при температуре верха колонны:

$$\rho_4^{120} = 0,68154 - 0,000897 \cdot (120 - 20) = 0,59244$$

Абсолютная плотность флегмы $\rho_{жс} = 592,44 \text{ кг/м}^3$

Объемный расход флегмы, стекающей с тарелок в верхней части колонны:

$$V_{вг} = \frac{L_6}{\rho_{жс}} = \frac{9089,63}{592,44} = 15,34 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2) Нижняя часть колонны:

Количество флегмы, стекающей с тарелок в нижней части колонны:

$$L_n = L_6 + F \cdot (1 - e) = 9089,63 + 30000 \cdot (1 - 0,415) = 26639,63 \text{ кг/ч},$$

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

где $e = 0,415$ – массовая доля отгона сырья на входе в колонну.

Количество паров, поднимающихся с тарелок нижней части колонны:

$$G_n = L_n - W = 26639,63 - 17785,32 = 8854,31 \text{ кг/ч}$$

Объем паров:

$$V_n = \frac{22,4 \cdot G_n \cdot T_n \cdot P_{атм}}{3600 \cdot M_w \cdot 273 \cdot P_n}, \quad (2.36)$$

где $T_n = 393 \text{ К}$ – температура верха колонны;

$M_w = 246,47 \text{ г/моль}$ – средняя молярная масса дистиллята;

$P_n = 2,2 \text{ ат}$ – давление вверху колонны.

$$V_n = \frac{22,4 \cdot 8854,31 \cdot 614 \cdot 1}{3600 \cdot 246,47 \cdot 273 \cdot 2,2} = 0,229 \text{ м}^3/\text{с} = 824,4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Плотность паров:

$$\rho_n^H = \frac{G_n}{3600 \cdot V_n} = \frac{8854,31}{3600 \cdot 0,229} = 10,74 \text{ кг/м}^3$$

Относительная плотность флегмы при температуре верха колонны:

$$\rho_4^{341} = 0,87562 - 0,000686 \cdot (341 - 20) = 0,65541$$

Абсолютная плотность флегмы $\rho_{жс} = 655,41 \text{ кг/м}^3$

Объемный расход флегмы, стекающей с тарелок в верхней части колонны:

$$L_{вн} = \frac{L_n}{\rho_{жс}} = \frac{26639,63}{655,41} = 40,65 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2.4.2 Диаметр и высота колонны

Диаметр колонны

Диаметр колонны определяется по наиболее нагруженному сечению по парам. Расход паровой фазы верхней части колонны составляет $V_g = 0,668 \text{ м}^3/\text{с}$, в нижней части $V_n = 0,229 \text{ м}^3/\text{с}$. Поэтому расчет диаметра производим по верхней части.

Для большинства колонн расстояния между тарелками принимаются та-

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

ким образом, чтобы облегчить чистку, ремонт и инспекцию тарелок: в колоннах диаметром до 2 м – не менее 450 мм, в колоннах большего диаметра – не менее 600 мм, в местах установки люков – не менее 600 мм.

Если в колонне большее число тарелок, то для снижения высоты колонны, ее металлоемкости и стоимости расстояние между тарелками уменьшают.

Примем к установке ситчатые однопоточные тарелки, расстояние между тарелками 600 мм, затем проверим соответствие этой величины и рассчитанным диаметром колонны.

Диаметр рассчитывается из уравнения расхода:

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{II}}{3,14 \cdot W_{\max}}}, \text{ м} \quad (2.37)$$

где V_{II} – объемный расход паров, м³/с;

W_{\max} – максимальная допустимая скорость паров, м/с.

$$W_{\max} = 8,47 \cdot 10^{-5} \cdot C_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ж} - \rho_{II}}{\rho_{II}}}, \quad (2.38)$$

где C_{\max} – коэффициент, зависящей от типа тарелки, расстояния между тарелками, нагрузки по жидкости;

$\rho_{ж}$ и ρ_{II} – плотность жидкой и паровой фазы, кг/м³.

$$C_{\max} = K_1 \cdot K_2 \cdot C_1 - K_3 \cdot (\lambda - 35) \quad (2.39)$$

В нашем случае $K_1 = 1,2$, $K_2 = 1,0$. Значение коэффициента C_1 определяется в зависимости от принятого расстояния между тарелками и типа тарелок.

При расстоянии между клапанными тарелками 600 мм коэффициент $C_1 = 1050$.

Коэффициент $K_3 = 5,0$ для струйных тарелок, для остальных тарелок $K_3 = 4,0$.

Коэффициент λ находится по уравнению:

$$\lambda = \frac{0,655 \cdot L}{\rho_{ж}} \cdot \sqrt{\frac{K_1 \cdot C_1}{V_{II} \cdot 3600}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ж} - \rho_{II}}{\rho_{II}}}, \quad (2.40)$$

где L – массовый расход флегмы в верхней части колонны, кг/ч;

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

$$\lambda = \frac{0,655 \cdot 9089,63}{592,44} \cdot \sqrt{\frac{1,2 \cdot 1050}{0,668 \cdot 3600}} \cdot \sqrt{\frac{592,44 - 5,958}{5,958}} = 22,58$$

$$C_{\max} = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1050 - 4,0 \cdot (22,58 - 35) = 1309,7$$

$$W_{\max} = 8,47 \cdot 10^{-5} \cdot 1309,7 \cdot \sqrt{\frac{592,44 - 5,958}{5,958}} = 1,10 \text{ м/с}$$

Диаметр колонны:

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,668}{3,14 \cdot 1,10}} = 1,18 \text{ м}$$

Полученный диаметр округляем в большую сторону до ближайшего стандартного значения.

Принимаем диаметр колонны $D_K = 1,2 \text{ м}$.

Проверяем скорость паров при принятом диаметре колонны:

$$W_{II} = \frac{4 \cdot V_{II}}{\pi \cdot D_k^2} = \frac{4 \cdot 0,668}{3,14 \cdot 1,2^2} = 0,78 \text{ м/с}$$

Она находится в допустимых пределах (0,45-0,85 м/с) для колонн под давлением и расстоянии между тарелками 600 мм.

Проверяем нагрузку тарелки по жидкости:

$$L_v = \frac{V_{жс}}{n \cdot \Omega \cdot D_K} \quad , \quad (2.41)$$

где $V_{жс}$ – объемный расход флегмы в данном сечении колонны, м³/ч;

n – количество потоков на тарелке;

Ω – относительная длина слива, обычно находится в пределах

$$\Omega = 0,65 \dots 0,75.$$

В нашем случае $V_{жс} = 15,34 \text{ м}^3/\text{ч}$, $n = 2$, примем $\Omega = 0,7$.

$$L_v = \frac{15,34}{2 \cdot 0,7 \cdot 1,2} = 9,13 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$$

Полученное значение расхода жидкости на единицу длины слива меньше максимально допустимого, которое составляет для данного типа тарелок:

$$L_v^{\text{дон}} = 65 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$$

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Высота колонны

Высота колонны рассчитывается по уравнению:

$$H_K = H_e + H_n + H_k + H_u + H_n + H_o, \quad (2.42)$$

где H_e – высота от верхнего днища до верхней тарелки, м;

H_n – высота от нижней тарелки до нижнего днища, м;

H_k – высота концентрационной тарельчатой части колонны, м;

H_u – высота исчерпывающей, отгонной тарельчатой части колонны, м;

H_n – высота секции питания, м;

H_o – высота опоры, м.

В нашем случае $H_e = 1,0$ м, $H_n = 2,0$ м

Высоты H_k и H_u зависят от числа тарелок в соответствующих частях колонны и расстояния между ними:

$$H_k = (N_{\text{конц}} - 1) \cdot h = (13 - 1) \cdot 0,6 = 7,2 \text{ м};$$

$$H_u = (N_{\text{отг}} - 1) \cdot h = (20 - 1) \cdot 0,6 = 11,4 \text{ м}$$

Высота секции питания H_n берется из расчета расстояния между тремя-четырьмя тарелками. Примем это расстояние в три тарелки:

$$H_n = (3 - 1) \cdot h = (3 - 1) \cdot 0,6 = 1,2 \text{ м}$$

Штуцер отбора нижнего продукта должен находиться на отметке не ниже 4 м от земли, для того, чтобы обеспечить нормальную работу горячего насоса. Поэтому высота опоры H_o конструируется с учетом обеспечения необходимого подпора жидкости и принимается высотой не менее 4 м.

Примем $H_o = 4$ м.

Полная высота колонны:

$$H_K = 1,0 + 2,0 + 7,2 + 11,4 + 1,2 + 4 = 26,8 \text{ м}$$

2.4.3 Обоснование модернизации ректификационной колонны

Модернизация ректификационной колонны заключается в замене ректификационных тарелок. Ранее использовались тарелки ситчатого типа с низким КПД $\eta_T = 0,65$. Предложено заменить тарелки на более эффективные – клапан-

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

ного типа (КПД $\eta_T = 0,85$) фирмы «Sulzer», являющейся мировым лидером в проектировании и производстве массообменного оборудования нефтеперерабатывающей и газоперерабатывающей промышленности.

Проведем перерасчет высоты колонны. Определим количество практических тарелок в концентрационной и отгонной частях ректификационной колонны по формулам:

$$N^{\text{конц}} = \frac{N_{\text{опт}}^{\text{конц}}}{\eta_{\text{тар}}} = \frac{7,961}{0,85} = 9,37 \approx 10;$$

$$N^{\text{отг}} = \frac{N_{\text{опт}}^{\text{отг}}}{\eta_{\text{тар}}} = \frac{15,3}{0,85} = 18$$

Общее количество практических тарелок в колонне:

$$N_{\text{раб}} = N^{\text{конц}} + N^{\text{отг}} = 10 + 18 = 28$$

Из предыдущих расчетов известны: расстояние между верхним днищем колонны и ее верхней укрепляющей тарелкой $H_g = 1,0$ м, высота питательной секции $H_n = 1,2$ м, расстояние между нижним днищем и нижней отгонной тарелкой $H_{\text{н}} = 2,0$ м. Тогда рабочая высота колонны без учета опоры будет равна:

$$H_K = H_g + (N^{\text{конц}} - 1) \cdot h + H_{\text{н}} + (N^{\text{отг}} - 1) \cdot h + H_n \quad (2.43)$$

$$H_K = 1,0 + (10 - 1) \cdot 0,6 + 1,2 + (20 - 1) \cdot 0,6 + 2,0 = 19,8 \text{ м}$$

Таким образом, после модернизации высота колонны уменьшится с 26,8 м до 19,8 м. Ввиду большего КПД тарелки, производительность аппарата не изменится.

Предлагаемая 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 7 метров, конструирование двух площадок нецелесообразно.

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

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

3 МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЛОННЫ

Механический расчет проведем для модернизированной колонны с меньшим числом тарелок по методике [27].

3.1 Расчет деталей аппарата

Выбор материала

Руководствуясь общими принципами выбора материалов, учитывая рабочую температуру (°C) и рабочее давление (МПа), выбираем материал для аппарата по ГОСТ Р 52630-12 [28] 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 [29].

Расчет толщины стенки цилиндрической части аппарата

Расчет толщины стенки ректификационной колонны выполним в соответствии с ГОСТ 14249-89 [30] 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 = 0,2 МПа;

D – внутренний диаметр корпуса = 1,2 м;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение;

φ – коэффициент сварного шва = 1.

Прибавка на коррозию $C = 3$ мм.

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Игошина А.А.</i>			<i>Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С. А.</i>				<i>У</i>	<i>52</i>	<i>78</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АМГУ ИФФ гр. 718-од</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т. А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гцжель Ю. А.</i>						

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: $n_T = 1,5$;

$n_B = 2,6$.

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

$$\sigma^* = \frac{470}{2,6} = 180,77 \text{ МПа}$$

Определим механические характеристики при расчетной температуре.

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

$$\sigma_B = 180,77 \cdot 0,985 = 178,06 \text{ МПа}$$

Полученное значение подставляем в формулу допускаемого напряжения (3.3).

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

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Подставим значение допускаемого напряжения в формулу расчета толщины стенки аппарата.

$$S_p = \frac{0,2 \cdot 1,2}{2 \cdot 147 \cdot 1 - 2,0} = 0,008 \text{ м} = 8 \text{ мм}$$

$$S = 8 + 3 = 11 \text{ мм}$$

Из рекомендуемого сортамента листовой стали принимаем толщину стенки 12 мм. Принимаем добавку толщины стенки в зависимости от высоты колонны $\Delta S = 2$ мм. Таким образом, толщина обечайки $S = 14$ 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:

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

$$S = \frac{0,2 \cdot 1,2}{2 \cdot 147 \cdot 1 - 0,5 \cdot 2,0} + 0,003 = 0,011 \text{ м}$$

Толщину стенки днища принимаем 12 мм, из рекомендуемого сортамента.

Высоту борта выбираем в зависимости от толщины днища, $h = 50$ мм.

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 $H = 0,25 \cdot 1,2 = 0,3$ м.

Высота днища: $0,3 + 0,05 = 0,35$ м.

Проведение гидравлических испытаний

Напряжение в нижней части колонны определяется по формуле:

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

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

Размеры фундаментного кольца [1] устанавливают соотношениями для внутреннего и наружного диаметров опорного кольца:

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

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

где D_n – наружный диаметр аппарата.

$$D_n = D_v + S , \quad (3.12)$$

где D_v – внутренний диаметр аппарата;

S – толщина стенки аппарата.

$$D_n = 1,2 + 0,012 + 0,012 = 1,224 \text{ м}$$

$$D_1 = 0,95 \cdot 1,224 = 1,16 \text{ м}$$

$$D_2 = 1,13 \cdot 1,224 = 1,38 \text{ м}$$

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

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

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

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

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

$H_{оп}$ – высота опорной обечайки;

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

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

$$H_1 = 19800 + 2000 + (350 + 12) + 45 = 22207 \text{ мм}$$

Примем высоту колонны равной 22300 мм

$$0,015 \cdot 15610 \geq h_n \geq 0,01 \cdot 15610 + 50 \text{ мм}$$

$$234,15 \geq h_n \geq 206,1$$

Принимаем высоту опорных лап 220 мм.

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

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

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 три участка: $h_1 = 10$ м, $h_2 = 10$ м, $h_3 = 2,3$ м [1].

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.

Для расчета примем, что установка находится в городе Комсомольск-на-Амуре, который находится в третьем районе, следовательно, нормативный скоростной напор будет равен $q_0 = 45 \cdot 10^5$ МПа.

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

										Лист
										57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$q_2 = 450 \cdot 1 = 450 \text{ Па} ,$$

$$q_3 = 450 \cdot 0,71 = 320 \text{ Па}$$

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 [1].

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:

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

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

I_φ – экваториальный момент инерции площади подошвы фундамента.

Если размеры фундамента неизвестны, то принимают:

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

где D_2^4 – наружный диаметр фундаментного кольца аппарата.

$$I_{\varphi} = 0,065 \cdot 1,22^4 = 0,14 \text{ м}^4$$

Тогда угол поворота сечения фундамента будет равен:

$$\varphi_0 = \frac{1}{100 \cdot 0,14} = 0,071 \text{ (МН} \cdot \text{м)}^{-1}$$

Максимальный вес аппарата равен:

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

где Q_1 – минимальный вес аппарата, МН;

Q_T – вес тарелок, МН;

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

Q_u – вес теплоизоляции аппарата, МН;

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

Минимальный вес аппарата равен:

$$Q_1 = Q_{ц} + Q_d + Q_{ол} + Q_{фк} + Q_l + Q_{лаз} + Q_{ш}, \quad (3.23)$$

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

Q_d – вес днищ, МН;

$Q_{ол}$ – вес обечайки опоры, МН;

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

Q_l – 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:

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

$$Q_{ц} = \frac{3,14}{4} \cdot (1,22^2 - 1,2^2) \cdot 13,2 \cdot 7500 \cdot 9,81 = 36899 \text{ Н}$$

						ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			59

Объем металла выпуклой части эллиптического днища определяют по формуле:

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot (D_n^2 \cdot H_n - D_e^2 \cdot H_e), \quad (3.25)$$

где H_n , H_e – соответственно, высота выпуклой части эллиптического днища с учетом толщины стенки и без ее учета.

$$V = \frac{3,14}{6} \cdot (1,22^2 \cdot 0,362 - 1,2^2 \cdot 0,35) = 0,018 \text{ м}^3$$

$$Q_d = V \cdot g \cdot \rho \quad (3.26)$$

Вес днищ:

$$Q_d = 0,018 \cdot 9,81 \cdot 7500 = 1324,35 \text{ Н}$$

Вес обечайки опоры:

$$Q_{on} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_n^2 - D_e^2) \cdot H_{on} \cdot \rho \cdot g \quad (3.27)$$

$$Q_{on} = \frac{3,14}{4} \cdot (1,22^2 - 1,2^2) \cdot 2 \cdot 7500 \cdot 9,81 = 5590,82 \text{ Н}$$

Вес фундаментного кольца:

$$Q_{фк} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_n^2 - D_e^2) \cdot H_{фк} \cdot \rho \cdot g \quad (3.28)$$

$$Q_{фк} = \frac{3,14}{4} \cdot (1,22^2 - 1,2^2) \cdot 0,012 \cdot 7500 \cdot 9,81 = 33,54 \text{ Н}$$

Вес лап:

$$Q_l = 116 \cdot 8 = 928 \text{ Н}$$

Вес люков-лазов:

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

Для ректификационных колонн применяют люки-лазы диаметром 450 мм, вес при давлении до 4,0 МПа составляет 3600 Н.

Определим необходимое количество люков-лазов, исходя из того, что через каждые 4-5 тарелок оптимально устанавливается 1 люк-лаз:

$$N_{лаз} = \frac{22,3}{5} = 5 \text{ люков}$$

										Лист
										60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР.161856.180301.ПЗ					

Учитывая люк-лаз, находящийся в опоре колонны:

$$N_{\text{лаз}} = 5 + 1 = 6 \text{ люков}$$

$$Q_{\text{лаз}} = 3600 \cdot 6 = 21600 \text{ Н}$$

Вес штуцеров:

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

Общее количество штуцеров – 17: штуцер ввода сырья диаметром 300 мм и весом 728 Н, штуцер вывода паров ректификата диаметром 250 мм и весом 518 Н, штуцер ввода флегмы диаметром 150 мм и весом 248 Н, штуцер вывода остатка диаметром 250 мм и весом 518 Н, штуцер ввода водяного пара диаметром 250 мм и весом 518 Н, штуцеры для потоков циркуляционного орошения и потоков стриппинга колонн диаметром 100 мм и весом 86 Н.

$$Q_{\text{шт}} = 728 + 518 + 248 + 518 + 518 + 6 \cdot 86 + 6 \cdot 86 = 3562 \text{ Н}$$

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

$$Q_1 = 36899 + 1324,35 + 5590,82 + 33,54 + 928 + 14400 + 3562 = \\ = 62737,71 \text{ Н} = 0,06 \text{ МПа}$$

Исходя из производственных данных, вес одной тарелки составляет 3300 Н. Общее количество тарелок в колонне – 28. Тогда вес тарелок:

$$Q_m = Q_{\text{им}} \cdot N_m \quad (3.31)$$

$$Q_m = 3300 \cdot 28 = 92400 \text{ Н}$$

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

$$Q_{\text{пл}} = 10000 \cdot 6 + 1000 \cdot 22,3 = 82300 \text{ Н}$$

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

										Лист
										61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$T = 1,79 \cdot 22,3 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{9,81}} \cdot \left(\frac{22,3}{1,84 \cdot 10^5 \cdot 0,008} + 4 \cdot 0,071 \right) = 2,696 \text{ с}$$

Зная период колебаний, найдем коэффициент динамичности, примем равным 2,5 [1]. Вычислим коэффициент увлечения скоростного напора, подставив значения в формулу (3.18). Так как коэффициент пульсации будет идентичным на всех участках, то можно сказать, что $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$.

$$\beta = 1 + 2,5 \cdot 0,35 = 0,875$$

Ветровая нагрузка на каждый участок будет равна:

$$P_1 = 0,6 \cdot 450 \cdot 0,875 \cdot (1,224 \cdot 10) = 2891,7 \text{ Н}$$

$$P_2 = 0,6 \cdot 450 \cdot 0,875 \cdot (1,224 \cdot 10) = 2891,7 \text{ Н}$$

$$P_3 = 0,6 \cdot 320 \cdot 0,875 \cdot (1,224 \cdot 2,3) = 473 \text{ Н}$$

Изгибающий момент от напора ветра в любом расчетном сечении на высоте x_0 от основания аппарата или постаumenta вычисляются 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.

$$x_1 = \frac{10}{2} = 5 \text{ м};$$

$$x_2 = 10 + \frac{10}{2} = 15 \text{ м};$$

$$x_3 = 10 + 10 + \frac{2,3}{2} = 21,15 \text{ м};$$

$$M_B = 2891,7 \cdot 5 + 2891,7 \cdot 15 + 473 \cdot 21,15 = 67838 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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 (постаumenta) при наличии на аппарате m обслуживающих площадок находят по формуле:

$$M'_B = M_B + \sum_{i=1}^{b_0} M'_{Bi} , \quad (3.36)$$

						Лист
					ВКР.161856.180301.ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

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.

$$\sum f_i = 0,35 \cdot 1,224 \cdot 1 = 0,43 \text{ м}^2$$

Ввиду того, что мы приняли шесть обслуживающих площадок, рассчитаем для каждой изгибающий момент, высоту расположения площадки и нормативный скоростной напор. Полученные данные сведем в таблицу 11.

Таблица 11 – Расчетные значения скоростных напоров и изгибающих моментов

Параметр	Значения					
q_i , МПа	167	333	459	491	509	592
x_{ni} , м	3,72	7,43	11,15	14,87	18,59	22,31
M_{Bi}' , Н·м	327,24	1303,28	2695,83	3845,89	4984,27	6957,06

$$\begin{aligned} \sum M_{Bi}' &= 327,24 + 1303,28 + 2695,83 + 3845,89 + 4984,27 + 6957,06 = \\ &= 20113,57 \text{ Н·м} \end{aligned}$$

Полученные значения изгибающих моментов подставим в формулу (36) и найдем суммарный изгибающий момент.

$$M_B' = 20113,57 + 67838 = 87951,57 \text{ Н·м} = 0,09 \text{ МПа}$$

Проверка прочности фундамента

Состояние опорной поверхности аппарата является наиболее напряженной при совместном действии ветрового момента 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, м^2 ;

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

Опорная площадь определяется по формуле:

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

$$F = \frac{3,14}{4} \cdot (1,38^2 - 1,16^2) = 0,44 \text{ м}^2$$

Момент сопротивления изгибу вычисляется по формуле:

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

$$W = \frac{3,14}{32} \cdot \left(\frac{1,38^4 - 1,16^4}{1,38} \right) = 0,13 \text{ м}^3$$

Подставив полученные значения в формулу (3.39), получим:

$$\sigma_2 = \frac{0,5}{0,44} + \frac{0,09}{0,13} = 1,8$$

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 1,8 меньше 4, следовательно, выбранный материал обеспечивает прочность фундамента.

Определение толщины фундаментного кольца

Усилия, вызвавшие напряжения σ_2 , изгибают выступающие части фундаментного кольца.

									Лист
									65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

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:

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

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

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

$$D_n^0 = 1,224 + 2 \cdot 0,012 = 1,248 \text{ м}$$

Тогда ширина выступающей части:

$$b = \frac{1,38 - 1,248}{2} = 0,066 \text{ м}$$

Толщина фундаментного кольца будет равна:

$$\delta_k = 0,066 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 1,8}{147}} = 0,01 \text{ м}$$

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;

									Лист
									66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				ВКР.161856.180301.ПЗ	

R_1 – плечо силы Q_1 ;

$$y = \frac{0,06 \cdot 0,51}{0,09} = 0,34$$

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:

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

$$\sigma_1 = \frac{0,06}{0,44} - \frac{0,09}{0,13} = -0,56 \text{ МПа}$$

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 небольшим запасом) определим по формуле:

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

где n – число фундаментных болтов;

$$P_\delta = 0,56 \cdot \frac{0,44}{8} = 0,03 \text{ МН}$$

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

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

$$d_\delta = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,03}{3,14 \cdot 147}} + 0,003 = 0,019 \text{ м}$$

Проверка устойчивости формы в сжатой зоне стенки цилиндрической опорной части корпуса

Для обеспечения устойчивости должно быть выполнено условие:

										Лист
										67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$\frac{Q_2}{Q_{доп}} + \frac{M'_B}{M_{доп}} \leq 1, \quad (3.49)$$

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

$M_{доп}$ – допускаемый изгибающий момент.

Допускаемая осевая сжимающая сила:

$$Q_{доп} = \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot \varphi_c \cdot [\sigma], \quad (3.50)$$

где φ_c – коэффициент уменьшения допускаемого напряжения.

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

Величина его определяется по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned} \text{при } \frac{D}{[2 \cdot (S - C)]} < 0,18 \cdot \frac{E}{\sigma_T} \\ \varphi_c = \frac{1}{1 + 23 \cdot \left(\frac{\sigma_T}{E} \cdot \frac{D}{2 \cdot (S - C)} \right)^2} \end{aligned} \quad (3.51)$$

$$\begin{aligned} \text{при } \frac{D}{[2 \cdot (S - C)]} \geq 0,18 \cdot \frac{E}{\sigma_T} \\ \varphi_c = \frac{0,75 \cdot k_c}{\frac{\sigma_T}{E} \cdot \frac{D}{2 \cdot (S - C)}} \end{aligned} \quad (3.52)$$

$$\frac{D}{[2 \cdot (S - C)]} = \frac{1,2}{[2 \cdot (0,012 - 0)]} = 50$$

$$0,18 \cdot \frac{E}{\sigma_T} = 0,18 \cdot \frac{1,84 \cdot 10^5}{245} = 135,2$$

Так как при расчете выполнилось первое условие, то коэффициент уменьшения допускаемого напряжения вычисляем по формуле (3.51).

$$\varphi_c = \frac{1}{1 + 23 \cdot \left(\frac{245}{1,84 \cdot 10^5} \cdot \frac{1,2}{2 \cdot (0,012 - 0)} \right)^2} = 0,9$$

Полученные значения подставляем в формулу (3.53).

$$Q_{дон} = 3,14 \cdot 1,2 \cdot (0,012 - 0) \cdot 0,9 \cdot 147 = 6,0 \text{ МН}$$

Допускаемый изгибающий момент рассчитывается по формулам:

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

$$M_{дон} = 0,785 \cdot \varphi_u \cdot [\sigma] \cdot (S - C) \cdot D^2 \quad (3.53)$$

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

$$M_{дон} = 0,785 \cdot k_u \cdot E \cdot D \cdot (S - C)^2 \quad (3.54)$$

$$0,23 \cdot \frac{1,84 \cdot 10^5}{245} = 172,74$$

Так как при расчете выполнилось первое условие, то допускаемый изгибающий момент вычисляем по формуле (3.53). Для этого рассчитаем коэффициент:

$$\varphi_u = \frac{1}{1 + 15,3 \cdot \left(\frac{\sigma_T \cdot D}{E \cdot 2 \cdot (S - C)} \right)^2} \quad (3.55)$$

$$\varphi_u = \frac{1}{1 + 15,3 \cdot \left(\frac{245}{1,84 \cdot 10^5} \cdot \frac{1,2}{2 \cdot (0,012 - 0)} \right)^2} = 0,94$$

$$M_{дон} = 0,785 \cdot 0,94 \cdot 147 \cdot (0,012 - 0) \cdot 1,2^2 = 1,87$$

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

$$\frac{0,3}{6,0} + \frac{0,09}{1,87} = 0,1$$

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

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

4.1 Основные требования безопасности при эксплуатации установки

Установка ЭЛОУ-АВТ по характеру перерабатываемых веществ относится к взрывопожароопасным объектам, т.к. обращающиеся на установке продукты являются легковоспламеняющимися или горючими жидкостями, горючими газами.

Установка относится к категории взрывопожароопасных производств – категории А_н по СП 12.13130.2009 (НПБ 105-03).

Основные опасности на установке связаны с:

- наличием большого количества взрывопожароопасных продуктов;
- наличием нефти и нефтепродуктов с содержанием сернистых соединений. Применение сернистых нефтей оказывает сильное коррозионное воздействие на оборудование и увеличивает возможность образования пиррофорных соединений;
- ведением технологического процесса с применением сложного объемного оборудования, работающего в условиях высоких температур (до 400 °С), давления и вакуума;
- наличием большого количества электросилового оборудования и освещения;
- возможностью утечек через арматуру, фланцы и неплотности сероводородсодержащего газа, являющегося токсичным веществом второго класса опасности;
- наличием большого количества движущихся и вращающихся частей машин, электрооборудования. Возможно нанесение травмы человеку вращающимися частями оборудования, не защищенного ограждением;

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Игошина А.А.</i>			<i>Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С. А.</i>				<i>У</i>	<i>70</i>	<i>78</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АмГУ ИФФ гр. 718-од</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т. А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю. А.</i>						

– наличием водяного пара высоких параметров и т.д.

С целью обеспечения безопасности при ведении процесса предусматриваются следующие мероприятия:

- технологический процесс ведется в герметичных аппаратах;
- производственный процесс полностью автоматизирован;
- все аппараты защищены от превышения давления системой предохранительных клапанов со сбросом на факел;
- предусматривается аварийная сигнализация при повышении концентрации взрывоопасных паров и газов на установке;
- на жидкостных и газовых линиях установлены обратные клапаны;
- строгое соблюдение норм технологического режима;
- обязательное выполнение обслуживающим персоналом производственных инструкций, правил по производственной безопасности, пожарной и газовой безопасности;
- бесперебойное снабжение установки сырьем, паром, водой, электроэнергией, воздухом КИП и азотом и т.д.

Технологический процесс на установке ЭЛОУ-АВТ предусматривает отсутствие непосредственного контакта персонала с исходным сырьем, готовой продукцией, реагентами, оказывающими вредное воздействие на организм человека. Однако в процессе эксплуатации установки могут возникать различного рода неполадки, создающие аварийные ситуации. Поэтому обслуживающий персонал обязан четко знать свои обязанности и уметь правильно и быстро принимать необходимые решения, предотвращающие дальнейшее развитие аварии.

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

- возникновение пожара и взрыва при выбросе нефтепродуктов в результате разгерметизации фланцевых соединений, торцевых и сальниковых узлов насосов и запорной арматуры;

- возникновение пожара и взрыва при работе в загазованной зоне искроопасным инструментом;
- термические ожоги водяным паром;
- поражение работающих электрическим током в случае выхода из строя заземления токоведущих частей, пробоя изоляции;
- взрыв, воспламенение паров нефтепродуктов за счет образования статического электричества или нарушения правил перекачки нефтепродуктов.

Для уменьшения количества выбрасываемых в окружающую среду горючих газов и жидких веществ при разгерметизации технологических систем и, как следствие, снижения тяжести возможных последствий взрывов и пожаров, сложные технологические потоки разделяют на технологические блоки.

Технологическая схема установки разбита на блоки, исходя из наличия отключающей арматуры (ручной, регулирующих клапанов и отсекателей) для возможного отключения при внезапной разгерметизации оборудования.

Категория блоков и сооружений установки определена и разделена на 11 блоков в соответствии с требованиями ФНиП «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением».

4.2 Влияние блока атмосферной перегонки установки ЭЛОУ-АВТ на окружающую среду

Установки атмосферной и вакуумной перегонки являются одними из самых энергопотребляющих на НПЗ, так как весь объем перерабатываемой сырой нефти должен быть нагрет до температуры примерно 350 °С.

Потребление энергии установкой АВТ составляет до 40 % от общего потребления энергии. тепло от потоков продуктов атмосферной перегонки с повышенной температурой используется в последующих процессах.

Источниками потенциальных выбросов в атмосферу являются:

- дымовые газы, образующиеся при сгорании топлива в трубчатых печах при нагревании нефти;

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– клапаны понижения давления в верхней части колонны. Сбросы из сборников дистиллята, расположенных на верху колонны, направляемые в факельную систему и вентиляционные точки;

– недостаточная герметичность систем верхней части колонны, в том числе барометрических сборников и вентиляционных отверстий и т.д.

Объем сточных вод, образующихся на установках АТ, составляет до 0,75 м³ на тонну переработанной нефти. Такие воды содержат нефтепродукты, сероводород, взвешенные твердые частицы, хлориды, меркаптаны, имеют повышенное значение рН, так как содержат аммиак и гидроксид натрия, используемые для защиты верха колонны от коррозии.

Во флегмовой емкости образуется 0,5 % воды на сырую нефть и 1,5 % пара на сырье с содержанием сероводорода до 200 мг/л.

Сточные воды, как правило, направляются в установки отпаривания или обработки.

При переработке нефти в колонне образуются шламы. Их количество зависит от периодичности удаления шлама и начального содержания твердых частиц и воды в сырой нефти.

Для предупреждения негативного воздействия блока атмосферной перегонки установки ЭЛОУ-АВТ на окружающую среду предложены следующие технологии:

1) комбинирование установок атмосферной и вакуумной перегонки нефти;

2) тепловая интеграция установок атмосферной и вакуумной перегонки, обеспечиваемая за счет: оптимизации рекуперации тепла, увеличения количества контуров циркуляционного орошения, боковых отпарных колонн повторного выкипания с использованием нефтепродуктов в качестве теплоносителя вместо пара и т.д.;

3) отпаривание кислых вод – для предотвращения или уменьшения загрязнения окружающей среды направляют сточные воды в отпарную колонну.

									<i>Лист</i>
									<i>73</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы для реализации поставленных целей и задач, а также для формирования и развития компетенций, необходимых для работы в профессиональной сфере, были изучены основы массообмена, подробно рассмотрен процесс ректификации и принцип действия колонных аппаратов; изучена научная документация по вопросу модернизации атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ. Проанализирован технологический регламент атмосферного блока действующего нефтеперерабатывающего завода, рассмотрены характеристики сырья и производимой продукции. Выполнены чертежи технологической схемы атмосферного блока установки ЭЛОУ-АВТ и общего вида атмосферной ректификационной колонны.

Проведен анализ полученных результатов технологического и механического расчетов атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ до и после ее модернизации.

Таким образом, предложенная модернизация позволит снизить затраты на конструирование колонны, также она позволит уменьшить количество обслуживаемых площадок. Кроме того, при уменьшении высоты, аппарат будет более устойчив к ветровым нагрузкам.

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Игошина А.А.</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С. А.</i>			У	74	80
<i>Консульт.</i>					<i>АМГУ ИФФ гр. 718-од</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т. А.</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гужель Ю. А.</i>					

*Модернизация атмосферной
ректификационной колонны
установки ЭЛОУ-АВТ*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / Ю. И. Дытнерский. – 2-е изд. Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. – М. : Химия, 1995. – 368 с.

2 Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А. Г. Касаткин. – 10-е изд. – М. : ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

3 Ахметов, С. А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов; под ред. С. А. Ахметова. – СПб. : Недра, 2006. – 868 с.

4 Баранов, Д. А. Ректификация // Большая Российская энциклопедия: в 35 т. / Ю. С. Осипов, С. Л. Кравец, Д. А. Баранов [и др.] – М. : Большая Российская энциклопедия, 2015. – Т. 28. – С. 367-368.

5 Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский [и др.] ; под ред. Ю. И. Дытнерского. – 5-е изд. , стереотип. – М. : ООО «Издательский дом Альянс», 2010. – 496 с.

6 Первичная переработка нефти. Ведение технологического процесса на установках I и II категории: Учебное пособие. – Сызрань: Губернский колледж г. Сызрани, 2014. – 38 с.

7 Агабеков, В. Е. Нефть и газ. Технологии и продукты переработки [Электронный ресурс]: монография / В. Е. Агабеков, В. К. Косяков. – Электрон. текстовые данные. – Минск: Белорусская наука, 2011. – 459 с. – 978-985-08-1359-6. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/10108.html>

					<i>ВКР.161856.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Игошина А.А.</i>			<i>Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Лескова С. А.</i>				<i>У</i>	<i>75</i>	<i>78</i>
<i>Консульт.</i>						<i>АмГУ ИФФ гр. 718-об</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т. А.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Гцжель Ю. А.</i>						

8 Бабкин, В. А. Увеличение энергоэффективности в процессе атмосферной перегонки нефти / В. А. Бабкин, Ф. А. Бурюкин, А. С. Киселёва [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – № 3 (325). – С. 56-63.

9 Ректификация, сущность процесса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/15_112276_rektifikatsiya-sushchnost-protssesa.html. – 08.05.2021.

10 Волосов, И. В. Анализ работы установки первичной переработки нефти / И. В. Волосов, С. М. Леденев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6-2. С. 217-218.

11 Гречухина, А. А. Совершенствование работы установок перегонки нефти / А. А. Гречухина, А. А. Елпидинский, А. Е. Пантелеева. – Казань : КГТУ, 2008. – 120 с.

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

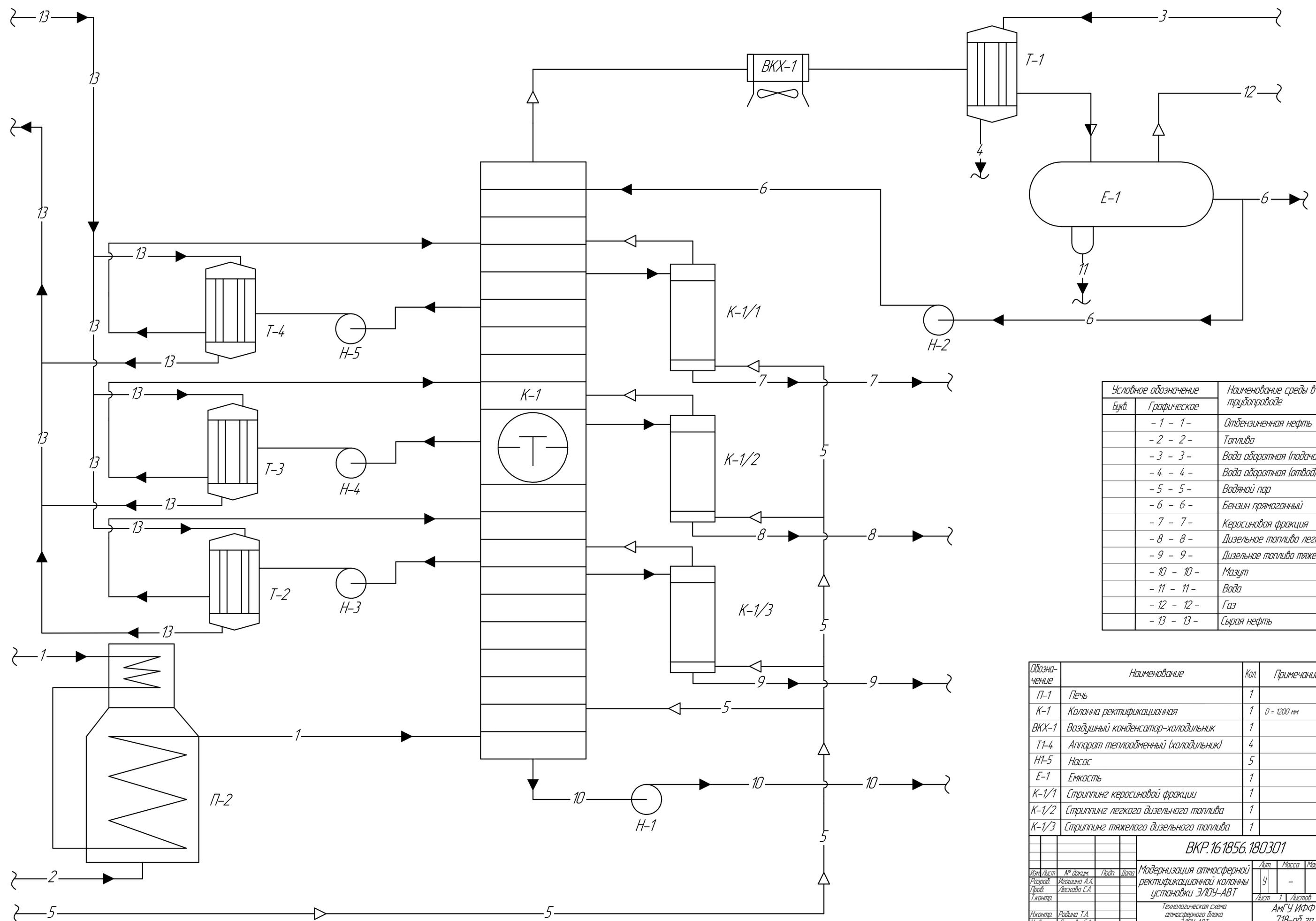
13 Абдусаломов, М. А. У. Нефть: свойства, способы добычи и переработки / М. А. У. Абдусаломов // Инновационные технологии в науке и образовании. Сборник статей XVI Международной научно-практической конференции. – 2021. – № 16. – С. 26-28.

14 Нозимжонов, М. Б. У. Процессы первичной и вторичной переработки нефти / М. Б. У. Нозимжонов // Инновационное развитие современного общества: актуальные вопросы теории и практики. – 2021. – С. 13-15.

15 ОСТ 26-01-1488-83. Аппараты колонные тарельчатые. Метод технологического и гидродинамического расчета. – Взамен ОСТ 26-01-1488-76; введ. 1985-07-29. – М. : Министерство химического и нефтяного машиностроения, 1985. – 118 с.

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

					ВКР.161856.180301.ПЗ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Условное обозначение	Графическое	Наименование среды в трубопроводе
- 1 - 1 -		Отбензиненная нефть
- 2 - 2 -		Топливо
- 3 - 3 -		Вода обратная (подача)
- 4 - 4 -		Вода обратная (отвод)
- 5 - 5 -		Водяной пар
- 6 - 6 -		Бензин прямойгонный
- 7 - 7 -		Керосиновая фракция
- 8 - 8 -		Дизельное топливо легкое
- 9 - 9 -		Дизельное топливо тяжелое
- 10 - 10 -		Мазут
- 11 - 11 -		Вода
- 12 - 12 -		Газ
- 13 - 13 -		Сырая нефть

Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
П-1	Печь	1	
К-1	Колонна ректификационная	1	D = 1200 мм
ВКХ-1	Воздушный конденсатор-холодильник	1	
Т-4	Аппарат теплообменный (холодильник)	4	
Н-5	Насос	5	
Е-1	Емкость	1	
К-1/1	Стриппинг керосиновой фракции	1	
К-1/2	Стриппинг легкого дизельного топлива	1	
К-1/3	Стриппинг тяжелого дизельного топлива	1	

ВКР.16.1856.180301

Модернизация атмосферной ректификационной колонны установки ЭЛОУ-АВТ				Лист	Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	у	-	1:1
Разраб.	Лескова С.А.						
Проб.							
Т.контр.							
Технологическая схема атмосферного блока ЭЛОУ-АВТ				Лист	1	Листов	2
Исполн.	Радына Т.А.				АМГУ ИФФ		
Утв.	Лескова С.А.				718-об.гр.		
				Копирабол			Формат А1

АМГУ-ЭЛОУ-АВТ: Учредитель - Федеральное государственное учреждение "Исследовательский институт нефтяного машиностроения" Роснефть. Разраб. и исполн. - Лескова С.А. Подп. и дата - Лескова С.А. 2016 г.

