

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: Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ


Исполнитель

студент группы 718-об

 18.06.2021 Д.С. Куранова
(подпись, дата)

Руководитель


доцент, канд. техн. наук

 18.06.21 Г.Г. Охотникова
(подпись, дата)

Консультант по безопасности

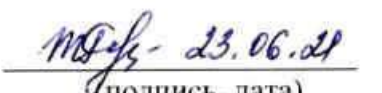
жизнедеятельности

доцент, канд. техн. наук

 18.06.21 А.В. Козырь
(подпись, дата)

Нормоконтроль

проф., док. хим. наук

 23.06.21 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 Курановой Дарьи Сергеевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ» утверждена Приказом от 23.04.2021 г № 812-уч
2. Срок сдачи студентом законченной работы 29.06.2020 г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: производительность вакуумного блока по сырью – 254275 кг/ч; остаточное давление верха колонны – 9 кПа; остаточное давление зоны питания колонны – 32361,95 Па; температура нагрева мазута – 402 °С. Литературные данные, рабочая документация, нормативная документация, технологические схемы.
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по процессам первичной переработки нефти и способам увеличения отбора вакуумного газойля. Характеристика сырья и готовой продукции установки ЭЛОУ-АВТ. Описание технологической схемы установки. Составление материального баланса и теплового баланса блока вакуумной перегонки мазута. Технологический расчет колонны. Обоснование модернизации. Основные требования безопасности при эксплуатации установки.
5. Перечень материалов приложения: Технологическая схема вакуумного блока.
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А. В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность производства»
7. Дата выдачи задания 14.05.2020 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Охотникова Галина Генриховна, доцент, канд. техн. наук

Задание принял к исполнению 14.05.2020 г.

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 64 с., 11 таблиц, 48 формул, 4 рисунка, 27 источников.

УСТАНОВКА ЭЛОУ-АВТ, ВАКУУМНЫЙ БЛОК, ВАКУУМНАЯ КОЛОННА, МАЗУТ, ВДФ, ВАКУУМНЫЙ ГАЗОЙЛЬ, ГУДРОН, ПРОТИВОТОЧНАЯ НАСАДКА, ПЕРЕКРЕСТНОТОЧНАЯ НАСАДКА, ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

В данной бакалаврской работе проанализирована установка ЭЛОУ-АВТ, подробно рассмотрен блок вакуумной перегонки мазута. Приведены назначение процесса и его актуальность, исходное сырье и продукты. Рассчитаны материальный и тепловой балансы вакуумного блока, диаметр и высота вакуумной колонны, гидравлическое сопротивление насадок «ВАКУПАК», «Кедр», «РЕТОН», а также материальные балансы вакуумного блока после замены насадки «ВАКУПАК».

Цель работы – решение проблемы увеличения отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ, в качестве решения предложена замена противоточной насадки на перекрестноточную.

Также в работе рассмотрены основные требования безопасности при эксплуатации установки, вредные и опасные производственные факторы, способы предупреждения и локализации аварийных ситуаций.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Куранова Д. С.</i>			<i>Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Охотникова Г. Г.</i>				У	3	64
<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>						

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Литературный обзор	8
1.1 Структура предприятия	8
1.2 Установка ЭЛОУ-АВТ	9
1.2.1 Характеристика сырья и производимой продукции	10
1.2.2 Необходимость модернизации установки ЭЛОУ-АВТ	12
1.3 Вакуумный газойль и области его применения	13
1.4 Способы увеличения отбора вакуумного газойля	14
1.4.1 Использование регулярной насадки с низким гидравлическим сопротивлением	16
1.4.2 Предварительная механоактивация нефтяного сырья	18
1.4.3 Дополнительная колонна	21
2 Технологическая часть	23
2.1 Описание технологической схемы установки	23
2.2 Характеристика сырья и производимой продукции	28
2.3 Материальный баланс блока вакуумной перегонки мазута	30
2.4 Тепловой баланс блока вакуумной перегонки мазута	31
2.5 Скорость газа и диаметр колонны	36
2.6 Гидравлическое сопротивление насадки	39
2.7 Расчет высоты вакуумной колонны	46
2.8 Обоснование модернизации вакуумной колонны	46
3 Безопасность и экологичность производства	54
3.1 Основные требования безопасности при эксплуатации установки	54
3.1.1 Характеристика опасностей производства	54

					ВКР.171049.180301.ПЗ					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.	Куранова Д. С.				Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ			У	4	64
Пров.	Охотникова Г. Г.									
Консульт.										
Н. контр.	Родина Т. А.									
Зав. каф.	Гужель Ю. А.									
					АмГУ, ИФФ, гр. 718-об					

3.1.2 Возможные инциденты и аварийные ситуации, способы их предупреждения и локализации	58
3.2 Должностные инструкции оператора установки	59
Заключение	61
Библиографический список	62

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		5

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- АВТ – атмосферновакуумная трубчатка;
- АТ – атмосферная трубчатка;
- ВГ – вакуумный газойль;
- ВДФ – вакуумная дизельная фракция;
- ВСС – вакуумсоздающая система;
- ВТ – вакуумная трубчатка;
- ВЭТТ – величина эквивалентная теоретической тарелке;
- КИП и А – контрольно-измерительные приборы и автоматика;
- КК – конец кипения;
- КПД – коэффициент полезного действия;
- ЛВГ – легкий вакуумный газойль;
- НК – начало кипения;
- НПЗ – нефтеперерабатывающий завод;
- ТВГ – тяжелый вакуумный газойль;
- ЭЛОУ-АВТ – атмосферно-вакуумная трубчатая установка с блоком предварительного обезвоживания и обессоливания нефти.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Куранова Д. С.</i>				<i>Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г. Г.</i>					У	6	64
<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>							

ВВЕДЕНИЕ

Целью бакалаврской работы является предложение методов увеличения отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ, а также расчет исходного и модернизированного блока вакуумной перегонки мазута.

В ходе прохождения преддипломной практики для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить структуру установки ЭЛОУ-АВТ и блока вакуумной перегонки, изучить принцип работы и управления технологическим процессом.
2. Составить описание технологической схемы блока вакуумной перегонки мазута.
3. Представить варианты решения проблемы увеличения отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ.
4. Провести расчет материального и теплового балансов вакуумного блока, гидравлического сопротивления насадок.

Основным продуктом вакуумной перегонки мазута является вакуумный газойль, который главным образом служит сырьем для установок каталитического крекинга.

В связи с сокращением рынка котельного топлива и увеличением ресурса сырья установок каталитического крекинга возрастает и актуальность глубокой переработки мазута.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Куранова Д. С.</i>				<i>Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г. Г.</i>					У	7	64
<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 Структура предприятия

Установка ЭЛОУ-АВТ является частью большого нефтеперерабатывающего комплекса. Данная установка предназначена для первичной переработки нефтей различных месторождений, а также их смесей. Переработка осуществляется с целью разделения нефти на отдельные фракции (бензин, керосин, дизельное топливо, мазут), которые используются как сырье для вторичной нефтепереработки на других установках [1].

На территории современных НПЗ с целью увеличения глубины переработки нефтяного сырья в большинстве случаев используют следующие технологические установки:

– Блок изомеризации предназначен для производства низкокипящего высокооктанового изомеризата, использующегося как компонент неэтилированных автомобильных бензинов. Для производства низкокипящего высокооктанового компонента на установке используется процесс низкотемпературной изомеризации нормальных парафинов $C_5 - C_6$.

– Установка гидроочистки дистиллятов предназначена для производства высококачественного дизельного топлива с низким содержанием серы и азота, высоким цетановым числом, улучшенными низкотемпературными свойствами.

– Установка производства серы предназначена для получения твердой технической серы методом окислительной конверсии сероводорода в элементарную серу (процесс Клауса).

– Установка замедленного коксования предназначена для переработки тяжелых нефтяных остатков (прямогонного гудрона) в более легкие газообразные, жидкие продукты и нефтяной кокс. В основу переработки гудрона положен процесс термического крекинга.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Куранова Д. С.</i>				<i>Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г. Г.</i>					У	8	64
<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>							

– Установка каталитического риформинга с предварительной гидроочисткой предназначена для переработки бензиновых фракций нефти с целью получения высококачественных бензинов и ароматических углеводородов, а также водородсодержащего газа (ВСГ), который широко используется как в нефтехимии, так и в таких процессах нефтепереработки, как: гидроочистка, гидрокрекинг, изомеризация и т.д. [2].

1.2 Установка ЭЛОУ-АВТ

Нефтепереработка – это многоступенчатый процесс физической и химической обработки сырой нефти, результатом которого является получение комплекса нефтепродуктов. Промышленные установки первичной перегонки делятся на атмосферные (АТ), вакуумные (ВТ) и комбинированные (например, АВТ, ЭЛОУ-АВТ и т.д.).

Из сырой нефти непосредственно одним процессом невозможно получить ни один товарный нефтепродукт (за исключением газов), все они получают последовательной обработкой на нескольких установках. Первой в этой цепочке всегда стоит установка ЭЛОУ-АВТ, от эффективной работы этой секции зависит работа всех остальных элементов технологической цепочки: выход и качество компонентов топлив и смазочных масел и технико-экономический показатель последующих процессов переработки нефтяного сырья [3].

Установка ЭЛОУ-АВТ состоит из трех основных блоков:

– Блок ЭЛОУ предназначен для удаления солей и воды из нефти перед подачей ее на переработку. Поступающая на переработку нефть после промысловой подготовки содержит в своем составе пластовую воду. Как правило, пластовая вода в значительной степени минерализована хлоридами натрия, магния и кальция, а также сульфатами и гидрокарбонатами и в незначительном количестве содержит механические примеси (частицы глины, песка, известняка, металлов). От качества подготовки нефти, глубины обезвоживания и обессоливания, как от одного из главных условий снижения коррозии, зависят продолжительность межремонтного периода работы установок первичной пе-

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						9
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

переработки нефти, качество вырабатываемых нефтепродуктов и как следствие, технико-экономические показатели работы предприятия в целом.

Для разрушения нефтяных эмульсий на нефтеперерабатывающих предприятиях используют термоэлектрохимический метод, включающий:

- гравитационное разделение при повышенных температурах;
- химическое – с помощью деэмульгатора;
- электрическое – с помощью электрического поля.

Для этих целей в производстве используют электродегидраторы, являющиеся главным элементом в схеме электрообессоливающих установок.

– Блок АТ предназначен для отбора светлых нефтяных фракций при атмосферном давлении. Для четкого разделения нефти на фракции применяют перегонку с ректификацией. Ректификация – это тепло- и массообменный процесс разделения жидкостей, различающихся по температуре кипения, за счет противоточного, многократного контактирования паров и жидкости. Процесс ректификации проводится в ректификационных колоннах на специальных устройствах – ректификационных тарелках или насадках.

– Блок ВТ предназначен для получения из мазута трех масляных фракций разной вязкости или вакуумного газойля широкого фракционного состава 350 °С – 500 °С. Также, как и на АТ, основным процессом переработки является ректификация, которую проводят в вакуумной колонне, отличающейся от атмосферной своей конструкцией и массообменными устройствами. В вакуумной колонне стремятся создать условия, обеспечивающие высокую долю отгона сырья и его минимальное разложение. Для этого применяют вакуумсоздающие системы, обеспечивающие поддержание минимального давления в колонне.

1.2.1 Характеристика сырья и производимой продукции

На НПЗ для последующей переработки и хранения согласно ГОСТ Р 51858-2002 [4] поступает сырая нефть следующего химического состава, указанного в таблице 1.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						10
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 1 – Характеристика сырья

Показатели, обязательные для проверки	Регламентируемые показатели		
1. Массовая доля серы, %:			
класс 1 – малосернистая	0,60, не более		
класс 2 – сернистая	0,61 – 1,80		
класс 3 – высокосернистая	1,81 – 3,50		
класс 4 – особо высокосернистая	3,50, не менее		
2. Плотность при 20 °С, кг/см ³ :			
тип 0 – особо легкая	830,0, не более		
тип 1 – легкая	830,1 – 850,0		
тип 2 – средняя	850,1 – 870,0		
тип 3 – тяжелая	870,1 – 895,0		
тип 4 – битуминозная	895,0, не менее		
	Норма для нефти группы		
	1 группа	2 группа	3 группа
3. Массовая доля воды, %, не более	0,5	0,5	1,0
4. Содержание хлористых солей, мг/дм ³ , не более	100	300	900
5. Массовая доля механических примесей, %, не более	0,05		
6. Давление насыщенных паров, кПа, не более	66,7		
7. Содержание хлорорганических соединений, ppm, не более	10,0		
	Норма для нефти вида		
	1 вид	2 вид	
8. Массовая доля сероводорода, ppm, не более	20	100	
9. Массовая доля метил- и этилмеркаптанов в сумме, ppm, не более	40	100	

На установке ЭЛОУ-АВТ получают фракции нефти различного состава, используемые для продажи или вторичной переработки на других установках. Характеристика типовой продукции установки ЭЛОУ-АВТ представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика продукции

Блок установки	Сырье	Продукты
1	2	3
1. ЭЛОУ	Сырая нефть	Нефть обессоленная: – содержание хлористых солей, мг/дм ³ , не более 2,0; – массовая доля воды, %, не более 0,2

1	2	3
2. АТ	Нефть обессоленная	Прямогонный бензин НК – 75 °С
		Прямогонный бензин 75 °С – 180 °С
		Керосиновая фракция
		Компонент дизельного топлива
		Мазут
3. ВТ	Мазут	Вакуумный газойль
		Гудрон

1.2.2 Необходимость модернизации установки ЭЛОУ-АВТ

Главной целью установок первичной переработки нефти является улучшение качества отбора нефтяных фракций от их потенциального содержания, а также более глубокая переработка кубовых остатков.

Для этой цели на НПЗ применяются следующие основные способы: качественная подготовка сырья и улучшение его свойств, а также своевременная модернизация аппаратного оформления процессов [5].

Процесс ректификации нефти на современных НПЗ не является идеальным. Устаревшие технологии ректификации не позволяют получить большее количество основных нефтепродуктов. Это является одной из главных причин необходимости модернизации технологического процесса перегонки нефти.

Выделим основные методы модернизации установок ректификации нефти, направленные на повышение производительности ректификационных колонн.

В первую очередь, необходимо сказать о методе орошения ректификационных колонн. Данный метод применяется с целью повышения чистоты получаемого товарного нефтепродукта в процессе первичной перегонки. В орошении ректификационных колонн участвует конденсатор, который сжижает газ, полученный в процессе отделения легких фракций. В ходе охлаждения часть вещества впрыскивается в низ колонны, более тяжелые фракции конден-

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12

сируются и опускаются вниз. Затем повторно нагреваются и в ходе этой повторной температурной обработки легкие частицы поднимаются вверх.

В качестве другого метода используется технология оптимального определения и регулирования температуры ректификационного процесса. В верхней точке ректификационной колонны температура должна соответствовать температуре получения конечного продукта или быть немного выше его точки кипения. Повышение температуры в верхней части ректификационной колонны приводит к тому, что тяжелые углеводородные фракции переходят в газообразное состояние, а понижение температуры приводит к тому, что полученные смеси в нижней части колонны будут плохого качества. В нижней части колонны, наоборот, температура должна быть немного ниже точки кипения тяжелых фракций.

Исходя из этого, повышение производительности при получении легких и тяжелых фракций и регулирование теплообменных процессов позволяют достичь максимального результата в получении продуктов перегонки нефти и максимального дохода от использования данного углеводородного сырья [6].

1.3 Вакуумный газойль и области его применения

Вакуумный газойль (ВГ) – целевой продукт установки АВТ топливного варианта. Для его получения мазут из блока АТ перегоняется в блоке ВТ.

Вакуумный газойль используется как сырье установок каталитического крекинга, гидрокрекинга и в некоторых случаях – термического крекинга с получением дистиллятного крекинг-остатка, направляемого далее на коксование с целью получения высококачественных нефтяных коксов.

ВГ после гидрокрекинга обычно применяется как сырьё для каталитического крекинга с целью выделения легких дистиллятов и широких масляных фракций. Также с помощью селективных растворителей возможно выделение твердых парафинов и церезинов.

При гидроочистке и последующем каталитическом крекинге вакуумного газойля получают фракции с пределами выкипания 200 °С – 360 °С (легкий газойль) и 360 °С – 500 °С (тяжелый газойль). После облагораживания легкого

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		13

газойля, в процессе которого происходит снижение содержания примесей гетероатомных соединений, его используют в качестве добавки к дизельному топливу. Тяжелый газойль применяют в качестве компонента котельного топлива.

Другой эффективный способ применения вакуумного газойля – при добавлении в сырьё от 1000 ppm до 1500 ppm депрессорно-реологической присадки, возможно получение маловязкого топлива, в том числе судового и печного. Данный реагент снижает вязкость и температуру застывания полученного продукта за счет связывания парафинов. Таким образом, полученное маловязкое топливо готово к использованию сразу после добавления депрессорно-реологической присадки без необходимости прохождения дорогостоящих процессов дальнейшей обработки.

Получаемый нефтепродукт обладает сразу рядом преимуществ:

- невысокая стоимость в сравнении с топливом, получаемым путем каталитического крекинга;
- качественные характеристики, полностью отвечающие стандартам судового маловязкого топлива;
- удобство транспортировки за счет снижения вязкости и понижения температуры застывания [7].

1.4 Способы увеличения отбора вакуумного газойля

В настоящее время в связи с модернизацией и строительством новых установок каталитического крекинга возникла возможность переработки вакуумного газойля с концом кипения до 360 °С. Это, в свою очередь, увеличивает ресурс сырья вакуумного газойля, а также повышает вязкость гудрона и позволяет его использовать в большем составе дорожного битума без окисления.

Важной задачей является также увеличение производительности уже построенных установок АВТ, в том числе при изменении состава сырья, например, в сторону увеличения в нем содержания легкого и тяжелого вакуумного газойля [8].

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						14
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Увеличение отбора и повышение качества вакуумного газойля в новых и модернизированных установках АВТ определяется возможностями оборудования вакуумного блока данных установок, а также путем внедрения комплекса мероприятий:

- оснащением вакуумной колонны регулярной насадкой с низким гидравлическим сопротивлением [9];
- предварительной механоактивацией нефтяного сырья;
- путем установки дополнительной колонны.

Также увеличению отбора способствует улучшение условий испарения мазута в печи, организация оптимального движения парожидкостной смеси в трансферном трубопроводе от печи до вакуумной колонны и улучшение конструкций внутренних устройств колонны (насадок). Основной целью этих мероприятий является обеспечение высокой доли отгона без заметного разложения углеводородов при минимальном уносе жидкости на нижнюю тарелку концентрационной части колонны.

Нагрев мазута в трубчатой печи выше 420 °С – 425 °С вызывает интенсивное образование газов разложения, закоксовывание и последующий прогар труб печи, а также осмоление вакуумного газойля.

В научной статье [10] говорится о том, что при нагреве мазута до максимально допустимой температуры следует уменьшать время пребывания его в печи, используя многопоточные змеевики, применять печи двустороннего облучения, в змеевик печи подавать водяной пар и уменьшать длину трансферного трубопровода. Также в вакуумной колонне применяют насадки с низким гидравлическим сопротивлением, используют вакуумсоздающие системы (ВСС), обеспечивающие достаточно глубокий вакуум. Контактные устройства в отгонной секции колонны также должны иметь небольшой перепад давления, поскольку это влияет на температуру вспышки гудрона.

Далее рассмотрим подробно способы увеличения отбора вакуумного газойля.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						15
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

1.4.1 Использование регулярной насадки с низким гидравлическим сопротивлением

Вначале в блоках вакуумной перегонки мазута в качестве контактных устройств вакуумных колонн применялись тарелки, обладающие низкой массообменной эффективностью и высоким гидравлическим сопротивлением. Это приводило к увеличению энергозатрат на перегонку, количества образующихся газов разложения и снижению качества получаемых вакуумных дистиллятов.

В мировой нефтепереработке в настоящее время для вакуумной перегонки мазута широко применяют насадочные контактные устройства регулярного типа, обладающие значительно меньшим гидравлическим сопротивлением на единицу теоретической тарелки, по сравнению с тарельчатыми контактными устройствами.

Применяемые в настоящее время вакуумные колонны с регулярными насадочными устройствами по способу организации взаимного движения контактирующих потоков жидкости и пара можно подразделить на два типа: противоточные и перекрестноточные [11].

Противоточные регулярные насадки

Противоточные насадки изготавливаются из просечных гофрированных листов, которые затем скрепляются между собой в готовые секции.

Основные отличительные особенности противоточных насадок от тарельчатых контактных устройств:

- значительно меньшее гидравлическое сопротивление;
- высокая разделительная способность.

Тем не менее, регулярные насадочные устройства обладают также рядом недостатков, таких как:

- высокая стоимость и сложность изготовления;
- сложность организации равномерного распределения орошения по всей площади насадки.

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Перегонка мазутов в промышленных условиях обычно сопровождается вводом в куб вакуумной колонны водяного пара в количестве до 1,5 % от массы мазута. Наряду с позитивным влиянием (улучшение отпарки углеводородов) имеют место и отрицательные эффекты: необходимость увеличения площади сечения колонны, разбавление паров углеводородов и снижение за счет этого КПД тарелок ректификационных колонн, увеличение нагрузки на систему создания вакуума.

Частичным решением данной проблемы является реконструкция вакуумной колонны с оснащением ее регулярными насадками с низким гидравлическим сопротивлением. Гидравлическое сопротивление колонны напрямую влияет на отбор вакуумного газойля согласно следующей основной закономерности: гидравлическое сопротивление увеличивается пропорционально (приблизленно) квадрату увеличения отбора вакуумного газойля. Так регулярные насадки с низким гидравлическим сопротивлением фирмы «Koch – Glitsch», с распределителями пара и жидкости, позволяют повысить суммарный выход вакуумных дистиллятов (на 7,8 % по массе) и улучшить их качество [12].

Помимо насадок фирмы «Koch – Glitsch» известно много других регулярных противоточных насадок с низким гидравлическим сопротивлением на одну теоретическую тарелку.

На российских и зарубежных НПЗ в основном используются регулярные противоточные насадочные устройства, разработанные такими компаниями, как «Glitsch» (Джемпак), «Zulzer» (Mellapak), «Кедр-89» (ВАКУПАК) [13].

Помимо этого, известна вакуумная насадочная колонна противоточного типа фирмы «Гримма» [8]. Она предназначена для глубоковакуумной перегонки мазута с отбором вакуумного газойля с температурой конца кипения до 550 °С.

Отмечаются следующие достоинства этого процесса:

- высокая производительность – до 4 млн т/год по мазуту;
- пониженная (на 10 °С – 15 °С) температура нагрева мазута после печи;

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

– существенное снижение расхода водяного пара на отпарку.

Перекрестноточные регулярные насадки

Перекрестноточные насадки разработаны в Уфимском государственном нефтяном техническом университете (УГНТУ) под руководством профессора Богатых К.Ф. и являются отдельным направлением развития регулярных контактных устройств вакуумных колонн.

Насадка представляет собой плоскопараллельный пакет, образованный расположенными вертикально параллельно друг к другу и собранными в блок (модуль) просечными листами, изготавливаемыми штамповкой.

Главное преимущество перекрестноточной насадки перед противоточной заключается в том, что противоточная насадка занимает все поперечное сечение колонны, а пар и жидкость движутся навстречу друг другу, а перекрестноточная насадка занимает всего часть поперечного сечения колонны (в виде различных геометрических фигур: кольцо, треугольник, четырехугольник, многоугольник и др.) и течение жидкости осуществляется сверху вниз, в то время как паровая фаза идет поперек направления течения жидкости.

В ходе эксплуатации перекрестноточной насадки также были выявлены следующие достоинства:

- захлебывание колонны возникает при больших в 1,5 – 2,5 раза жидкостных и паровых нагрузках;
- более эффективный контакт пара и жидкости, за счет снижения каплеуноса;
- устойчивость насадки при работе в загрязненных средах.

Особый интерес представляют перекрестноточные насадки из гофрированной сетки фирмы «Zulzer» и регулярная насадка с треугольными и трапецидальными гофрами [14], разработанная в филиале УГНТУ в г. Салавате.

1.4.2 Предварительная механоактивация нефтяного сырья

Самым неоднозначным, но перспективным методом, позволяющим увеличить выход вакуумного газойля при вакуумной перегонке является метод механоактивации нефтяного сырья.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		18

Общим свойством пространственно-структурированных систем, к которым относится нефтяное сырье, является сопротивляемость деформации и разрушению под действием внешней механической нагрузки. При достижении определенного значения механической нагрузки (предельного напряжения сдвига) структура разрушается. Основными направлениями механохимических превращений молекул углеводородов, в первую очередь насыщенных, является деструкция, изомеризация, циклизация и присоединение. Образуются соединения как с меньшей, так и с большей молекулярной массой.

Основным аппаратом для данного процесса служит дезинтеграционный агрегат высокого давления, который представляет собой аппарат для диспергирования (измельчения) нефтепродуктов на молекулярном уровне вплоть до разрушения сложных органических молекул на более простые составляющие. В процессе диспергирования возникает режим кавитации разной интенсивности. Вблизи точек схлопывания кавитационных пузырьков в конденсированной фазе происходит локальная концентрация механических напряжений, под действием которых разрушаются не только межмолекулярные, но и межатомные связи. Это приводит к разупорядочиванию, разрыхлению надмолекулярной структуры, образованию активированных молекул и свободных радикалов. Последние, участвуя в обычных свободнорадикальных реакциях как непосредственно во время действия механических напряжений, так и после окончания их действия, образуют молекулы новых стабильных соединений с меньшей и с большей молекулярной массой по сравнению с исходными компонентами обрабатываемой жидкой субстанции [12].

Ранее проведенные исследования активации нефтяного сырья показывают, что при проведении процесса при рабочем давлении сжатия 30 МПа последующая первичная перегонка тяжелых западносибирских нефтей сопровождается увеличением доли углеводородов, выкипающих до 100 °С – 200 °С, на 3 % – 7,5 % по объему. Начало кипения этих нефтей после активации снизилось на 9 °С – 18 °С по сравнению с исходным образцом, т.е. преобладали деструктивные превращения.

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Однако для повышения отбора вакуумного газойля важную роль играют условия проведения процесса механоактивации. Проведение процесса при более высоких давлениях способствует перераспределению дистиллятных фракций в сторону высококипящих компонентов и создает возможность более глубокого отбора вакуумных дистиллятов, температура конца кипения (КК) которых может заметно превысить 500 °С. Результаты проведения механоактивации при давлениях сжатия 40 МПа и 50 МПа показывают повышение температуры КК вакуумных дистиллятов до 538 °С, что позволяет увеличить выход последних на 7,6 % по массе.

Следует также отметить, что применение гидродинамической кавитации с $P = 50$ МПа позволило повысить в составе вакуумного газойля долю тяжелой составляющей его части (460 °С – 538 °С) до 68,8 % по сравнению с аналогичным показателем (66,8 %) исходного образца нефти. Это важно подчеркнуть, т.к. вакуумный газойль после гидроочистки используют в качестве сырья в процессе каталитического крекинга. Выявлено, что после кавитационной обработки ($P = 40$ МПа) вакуумного газойля содержание в нем погона, выкипающего выше 420 °С, увеличилось с 57,4 % до 70,4 % по массе. В результате каталитического крекинга активированного газойля суммарный выход целевых продуктов (углеводородных газов $C_3 - C_4$, высокооктанового бензина и легкого газойля) повысился на 10 %, а коксообразование на катализаторе снизилось на 13 % [15].

Однако у данного процесса имеются существенные недостатки. Несмотря на высокие показатели отбора вакуумных дистиллятов при проведении процесса механоактивации (40 МПа, 50 МПа) суммарное повышение выхода дистиллятных фракций (НК – КК) составило всего 0,7 % по массе. При этом увеличение в нефти концентрации компонентов, кипящих выше 430 °С, компенсировалось за счет снижения доли низкокипящих соединений. Так же к недостаткам можно отнести низкую изученность данного процесса в связи с проведением в основном лабораторных исследований при редком промышленном применении.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						20
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

1.4.3 Дополнительная колонна

Существует 2 варианта установки дополнительной колонны:

- 1) до основной вакуумной колонны;
- 2) после основной вакуумной колонны.

Снизить гидравлическое сопротивление вакуумной колонны можно уменьшением содержания низкокипящих компонентов в мазуте, установкой перед основной колонной дополнительной колонны, работающей при пониженном давлении без нагрева сырья. При работе основной вакуумной колонны с мазутом из газового конденсата по топливной схеме она перегружена парами газойля и давление в колонне с верха вниз возрастает с 1 до 7 кПа, что вызывает потерю тяжелого вакуумного газойля с гудроном от 10 % до 15 %.

Было проведено исследование ректификации мазута в дополнительной колонне. Температура мазута после атмосферной колонны составляет 165 °С – 168 °С. При снижении давления в дополнительной колонне с флегмовым числом 0,2 и с 5 теоретическими тарелками с 2,8 до 2,1 кПа массовая доля отбора легкого вакуумного газойля (ЛВГ) составит от 0,06 до 0,12. В результате испарения ЛВГ температура в зоне ввода сырья снижается до 157 °С. При расходе сырья 320000 кг/ч и потенциальном содержании тяжелого вакуумного газойля (ТВГ) и ЛВГ в сырье 195520 кг/ч отбор ЛВГ составит 38400 кг/ч, т.е. снижение газойлей составит 19,6 %.

Сопротивление основной вакуумной колонны пропорционально квадрату отбора вакуумного газойля. При прочих равных условиях дополнительная вакуумная колонна позволит снизить сопротивление основной колонны в 3,8 раза и давление в кубе составит 2,6 кПа. Это позволит увеличить отбор вакуумного газойля, например, на 15000 кг/ч. В этом случае, давление в кубе повысится примерно до 4 кПа [16].

Известно также увеличение отбора вакуумного газойля путем установки дополнительной колонны, работающей в условиях глубокого вакуума, после основной, для отбора тяжелого газойля.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						21
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Увеличение отбора тяжелого вакуумного газойля возможно в дополнительной колонне, работающей при глубоком вакууме с остаточным давлением на верху колонны до 0,65 кПа, в результате создания глубокого вакуума в зоне ввода сырья в вакуумной колонне и при использовании в качестве сырья полугудрона из основной вакуумной колонны без нагрева [17].

Это имеет следующие преимущества:

1) В полугудроне отсутствуют низкокипящие компоненты легкого вакуумного газойля (ЛВГ) и вакуумного газойля (ВГ), присутствующие в мазуте. В этой связи объем паров в дополнительной колонне даже при глубоком вакууме позволяет создать колонну относительно небольших размеров по диаметру и высоте;

2) Присутствие в паровой фазе в дополнительной колонне только тяжелого вакуумного газойля (ТВГ) исключает необходимость вывода ЛВГ и ВГ и требует меньшего числа теоретических тарелок, чем в основной вакуумной колонне установки АВТ;

3) Уменьшение числа теоретических тарелок в дополнительной колонне снижает ее гидравлическое сопротивление, что позволяет снизить давление в зоне ввода сырья;

4) Использование полугудрона в качестве сырья в дополнительной колонне резко снижает количество газов разложения в ней, т.к. основное количество газов разложения отпаривается в основной колонне. Это требует для дополнительной колонны, создающей вакуум системы небольшой производительности.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						22
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Описание технологической схемы

Технологическая схема блока вакуумной перегонки мазута представлена на рисунке 1.

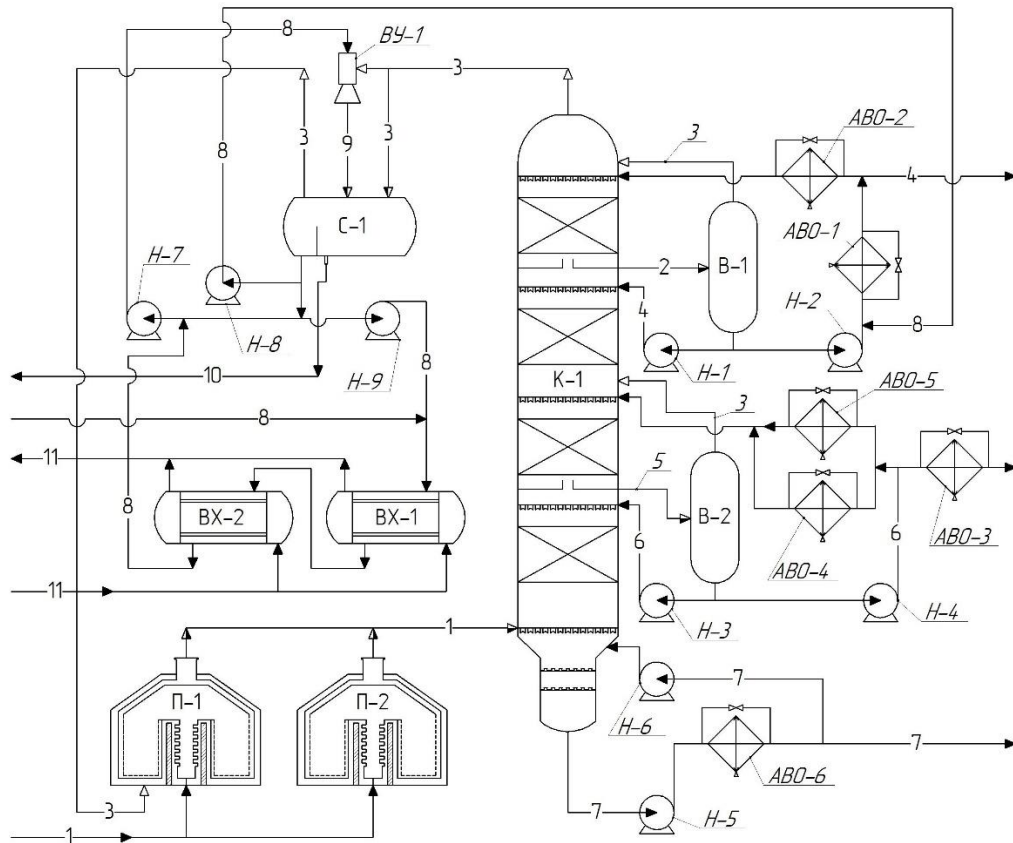


Рисунок 1 – Технологическая схема блока ВТ

П-1, П-2 – печь для мазута; К-1 – вакуумная колонна; В-1, В-2 – вакуумприемник; АВО-1 – АВО-6 – аппарат воздушного охлаждения; ВУ-1 – вакуумсоздающее устройство; С-1 – лоточно-жалюзийный сепаратор; ВХ-1, ВХ-2 – водяной холодильник; Н-1 – Н-9 – центробежный насос;
 1 – мазут; 2 – смесь ВДФ и газов разложения; 3 – газы разложения; 4 – ВДФ; 5 – смесь ВГ и газов разложения; 6 – вакуумный газойль; 7 – гудрон; 8 – рабочая жидкость; 9 – смесь газов разложения и рабочей жидкости; 10 – водяной конденсат; 11 – обратная вода

				ВКР.171049.180301.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Разраб.	Куранова Д. С.				Лит	Лист
Пров.	Охотникова Г. Г.				У	23
Консульт.						Листов
Н. контр.	Родина Т. А.				64	
Зав. каф.	Гужель Ю. А.				АмГУ, ИФФ, гр. 718-об	
Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ						

Установка первичной переработки нефти ЭЛОУ-АВТ представляет собой комбинированную установку, основными блоками которой являются атмосферный и вакуумный. В атмосферном блоке получают продукты с температурой кипения до 350 °С. Остаток атмосферной перегонки поступает в вакуумный блок на переработку. Основное назначение блока ВТ – получение вакуумного газойля широкого фракционного состава (350 °С – 500 °С).

Мазут с низа атмосферной колонны подается на две параллельно работающие трубчатые печи П-1 и П-2. Пройдя конвекционные и радиантные змеевики, мазут, объединившись в один поток, по трансферным трубопроводам, в парожидкостном состоянии поступает через распределительное устройство, находящееся в эвапорационном пространстве (секции питания) вакуумной колонны К-1, на первую клапанную двухпоточную тарелку.

В вакуумной колонне К-1 при абсолютном давлении верха колонны, происходит «сухая» – без подачи в колонну водяного пара – перегонка мазута с отбором боковых погонов компонента судового топлива (вакуумной дизельной фракции – ВДФ) и вакуумного газойля. В качестве контактных устройств для обеспечения тепло- и массообмена для необходимой четкости фракционирования и минимальных гидравлических потерь при прохождении паров по высоте колонны, используются четыре пакета насадки «ВАКУПАК».

Вывод боковых погонов и циркуляционных орошений осуществляется с двух «глухих» тарелок, конструкция которых обеспечивает проход только паров.

В нижней, отпарной части колонны К-1, расположены две клапанные двухпоточные тарелки.

Выше эвапорационной части находится концентрационная часть, состоящая из четырех секций:

- секции компонента судового топлива (ВДФ);
- секции ректификации;
- секции вакуумного газойля;
- секции промывки.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						24
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Секция компонента судового топлива (ВДФ) находится в верхней части колонны и состоит из пакета № 1. Под первым пакетом расположена «глухая» тарелка для сбора дизельного дистиллята.

С верхней «глухой» тарелки ВДФ, самотеком, через гидрозатвор, поступает в вакуумприемник В-1.

Пары из В-1 возвращаются по уравнительному трубопроводу в колонну К-1, компонент судового топлива (ВДФ) делится на два потока:

– I поток нагнетаясь насосом Н-1 возвращается через распределительное устройство, для равномерного распределения по всей поверхности пакета, в колонну на вторую секцию насадки в виде горячего орошения;

– II поток поступает в аппарат воздушного охлаждения АВО-1. После АВО-1 балансовое количество ВДФ выводится с установки, а часть потока доохладившись в АВО-2 подается в качестве верхнего циркуляционного орошения в колонну К-1 на первую секцию насадки.

Секция ректификации расположена под секцией ВДФ и состоит из пакета насадки «ВАКУПАК» № 2 и предназначена для четкости фракционирования и снижения наложения фракционных составов между вакуумной дизельной фракцией и вакуумным газойлем.

Секция вакуумного газойля расположена под секцией ректификации и состоит из пакета «ВАКУПАК» № 3. Под третьим пакетом расположена «глухая» тарелка для сбора ВГ.

С «глухой» тарелки ВГ с температурой 262 °С, самотеком, через гидрозатвор, поступает в вакуумприемник В-2.

Пары из В-2 возвращаются по уравнительному трубопроводу в колонну К-1, а ВГ делится на два потока и поступает на прием насосов Н-3 и Н-4 соответственно:

– I поток возвращается через распределительное устройство, для равномерного распределения по всей поверхности пакета в колонну на четвертую секцию насадки в виде горячего орошения;

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						25
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

– II поток делится на два потока: первый поток, в качестве нижнего циркуляционного орошения, охлаждается в АВО-4 и АВО-5, и возвращается в колонну К-1 на третью секцию насадки, а второй, охлаждаясь в АВО-3 выводится с установки.

Секция промывки расположена под секцией вакуумного газойля, состоит из пакета насадки «ВАКУПАК» № 4 и предназначена для четкости фракционирования между вакуумным газойлем и гудроном.

С низа колонны К-1 гудрон поступает на прием насоса Н-5, с нагнетания насоса гудрон поступает в АВО-6 и выводится с установки.

Для снижения крекинга в отгонную часть колонны К-1 насосом Н-6 вводится охлажденный гудрон (квенч).

Необходимое остаточное давление (2,4 – 4,4 кПа) в верхней части колонны К-1 поддерживается с помощью вакуумсоздающей системы состоящей из:

- вакуумсоздающего устройства ВУ-1;
- лоточно-жалюзийного сепаратора С-1;
- насосов Н-7, Н-8, Н-9;
- водяных холодильников (теплообменников кожухотрубчатых) ВХ-1, ВХ-2.

Рабочим агентом в вакуумсоздающем устройстве является компонент судового топлива (атмосферный газойль) поступающий с атмосферной колонны.

Рабочий агент насосом Н-7 подается в вакуумсоздающее устройство ВУ-1.

Важным фактором в работе вакуумсоздающего устройства с высоким КПД, для достижения регламентированного остаточного давления в колонне К-1, является поддержание параметров рабочей жидкости, поступающей в ВУ-1 в рекомендуемом интервале значений:

- расход 200 – 240 м³/ч;
- давление 4,8 – 6,0 МПа;

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

– температура 20 °С – 40 °С.

Откачиваемая с верха вакуумной колонны К-1 парогазовая смесь поступает в качестве пассивного (сжимаемого) рабочего тела на вход вакуумсоздающего устройства ВУ-1. В ВУ-1 происходит сжатие газов разложения и незначительного количества паров дизельной фракции до остаточного давления на вершине колонны К-1 за счет кинетической энергии рабочей жидкости и одновременная абсорбция части углеводородов.

Из ВУ-1 газожидкостная смесь поступает в затворную секцию лоточно-жалюзийного сепаратора С-1. Сепаратор оборудован специальными внутренними устройствами, на которых происходит отделение газовой фазы и конденсировавшихся паров воды из рабочей жидкости.

Газы разложения из сепаратора С-1 поступают в печь П-1 на дожиг.

Отделенная от рабочей жидкости вода из грязевика, установленного в нижней части сепаратора, самотеком выводится в промышленную канализацию.

Для поддержания температуры рабочего агента, часть рабочей жидкости из сепаратора С-1 поступает для захлаживания в водяные холодильники ВХ-1 и ВХ-2 посредством насоса Н-9.

Охлажденный рабочий агент, смешавшись с компонентом судового топлива из С-1, поступает на прием насоса Н-7.

Балансовая часть компонента судового топлива (атмосферного газойля) посредством насоса Н-8 выводится с установки путем вовлечения ее в компонент судового топлива (вакуумную дизельную фракцию) перед АВО-1.

В качестве хладагента, для обеспечения необходимого теплосъема, в трубное пространство водяных холодильников ВХ-1,2 вводится обратная вода.

В процессе эксплуатации, вследствие абсорбции рабочей жидкостью продуктов разложения и углеводородов из парогазовой смеси эжектируемой с колонны К-1, изменяются ее физические свойства (теплоемкость, плотность),

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						27
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

что в конечном итоге отрицательно сказывается на эффективности работы вакуумсоздающей системы в целом.

Для исключения воздействия данного фактора на стабильность работы ВСС, предусмотрена постоянная подпитка системы свежим компонентом судового топлива (атмосферным газойлем).

2.2 Характеристика сырья и производимой продукции

Нефть, которая служит сырьем для установки первичной переработки нефти, сначала подвергается обезвоживанию и обессоливанию в блоке ЭЛОУ [18]. Фракции с температурой кипения до 350 °С отгоняются при атмосферном давлении. Остаток после атмосферной перегонки – мазут – является сырьем вакуумного блока.

Состав мазута, поступающего на вакуумный блок из атмосферной колонны, регламентируется содержанием фракций, выкипающих до 350 °С.

Содержание светлых должно составлять не более 5 % по массе, так как их рост приводит к увеличению диаметра вакуумной колонны, затрудняет полную конденсацию паров на верху колонны и увеличивает загрузку ВСС.

Основные свойства и качество сырья представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Качество сырья

Наименование продукта	Основные свойства и качество сырья		
	Показатель	Единица измерения	Норма
Мазут	Температура вспышки в открытом тигле, не ниже:	°С	90
	Плотность при 20 °С, не менее:	кг/м ³	930
	Кинематическая вязкость при 100 °С:	сСт	30,4

Целевой продукт – вакуумный газойль – фракция 350 °С – 500 °С.

Фракция вакуумного газойля должна быть светлой или слегка окрашенной, не содержать смолисто-асфальтеновых веществ, иметь минимальное ко-

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28

личество металлоорганических соединений, особенно никеля и ванадия, которые оказывают отрицательное влияние на активность, селективность и срок службы алюмосиликатных катализаторов каталитической переработки газойлей [7].

Остаток вакуумной перегонки – гудрон – фракция с температурой кипения более 500 °С, вязкая жидкость или твердый асфальтоподобный продукт черного цвета.

В состав гудрона входят парафиновые, нафтеновые, ароматические углеводороды (45 % – 95 %), асфальтены (3 % – 17 %), а также нефтяные смолы (2 % – 38 %). Кроме того, в гудроне концентрируются практически все присутствующие в нефти металлы.

Гудрон используется в качестве сырья установок термокрекинга, висбрекинга, коксования и получения битума. Может являться компонентом котельного топлива [19].

Основные свойства и качество продуктов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Качество продуктов

Наименование продукта	Основные свойства и качество продуктов		
	Показатель	Единица измерения	Норма
1	2	3	4
Вакуумная дизельная фракция	Плотность при 20 °С, не более:	кг/м ³	910
	Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, не менее:	°С	66
	Температура застывания, не выше:	°С	не нормируется
	Вязкость кинематическая, при 20 °С, не более:	мм ² /с	не нормируется
Вакуумный газойль	Плотность при 20 °С, не более:	кг/м ³	не нормируется
	Температура вспышки в закрытом тигле, не ниже:	°С	61

1	2	3	4
Гудрон	Плотность при 20 °С, при применении в качестве: – компонента мазута – сырья установки замедленного коксования	кг/м ³	не нормируется 1000

2.3 Материальный баланс блока вакуумной перегонки мазута

Мазут с колонны атмосферной перегонки нефти поступает для дальнейшей переработки на блок вакуумной перегонки мазута. На ООО «РН-Комсомольский НПЗ» при перегонке мазута в вакуумной насадочной колонне получают фракции со следующими годовыми производительностями:

- Газы разложения;
- Вакуумная дизельная фракция (107869,51 т/год);
- Вакуумный газойль (1226491,47 т/год);
- Гудрон (636544,24 т/год).

Из таблиц материальных потоков установки ЭЛОУ-АВТ находим массовый расход мазута, поступающего на прием сырьевых насосов перед вакуумной насадочной колонной $G_M = 254275$ кг/ч.

Исходя из 8000 часов в год работы установки пересчитаем часовую производительность установки по основным фракциям:

$$G_x = \frac{G_x^{\text{год}} \cdot 1000}{\tau}, \text{ кг/ч}, \quad (1)$$

где G_x – массовый расход x , кг/ч;

$G_x^{\text{год}}$ – годовая производительность x , т/год;

τ – время работы установки в год, ч.

$$G_{\text{ВДФ}} = \frac{107869,51 \cdot 1000}{8000} = 13483,69 \text{ кг/ч},$$

$$G_{\text{ВГ}} = \frac{1226491,47 \cdot 1000}{8000} = 153311,43 \text{ кг/ч},$$

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						30
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

$$G_{\text{Гудрон}} = \frac{636544,24 \cdot 1000}{8000} = 79568,03 \text{ кг/ч.}$$

Найдем массовый расход образующихся газов разложения:

$$G_{\text{Г}} = G_{\text{М}} - G_{\text{ВДФ}} - G_{\text{ВГ}} - G_{\text{Гудрон}}, \text{ кг/ч,} \quad (2)$$

$$G_{\text{Г}} = 254275 - 13483,69 - 153311,43 - 79568,03 = 7911,85 \text{ кг/ч.}$$

Зная массовый расход всех компонентов, составим материальный баланс блока вакуумной перегонки мазута (таблица 5):

Таблица 5 – Материальный баланс блока вакуумной перегонки мазута

Приход			Расход		
Наименование	% масс. на сырье	кг/ч	Наименование	% масс. на сырье	кг/ч
Мазут	100	254275	Газы разложения	3,11	7911,85
			Вакуумная дизельная фракция	5,31	13483,69
			Вакуумный газойль	60,29	153311,43
			Гудрон	31,29	79568,03
Итого:	100	254275	Итого:	100,00	254275

2.4 Тепловой баланс блока вакуумной перегонки мазута

Цель расчета теплового баланса – определение тепловых нагрузок вакуумной ректификационной колонны для поддержания оптимального теплового режима в колонне.

Количество тепла, поступающее в колонну и количество тепла, уносимое из нее должны быть равны. Согласно закона сохранения энергии:

$$\sum Q_{\text{вх}} = \sum Q_{\text{вых}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{вх}}$ – общее количество тепла, входящего в колонну, кДж/ч;

$Q_{\text{вых}}$ – общее количество тепла, выходящего из колонны, кДж/ч.

Тепло, входящее в колонну:

1) с мазутом, нагретым до температуры t_0 :

$$Q_{\text{М}} = G_{\text{М}} \cdot e \cdot I_{t_0}^{\text{п}} + G_{\text{М}} \cdot (1 - e) \cdot I_{t_0}^{\text{ж}}, \quad (4)$$

										Лист
										31
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

где $I^{\text{п}}, I^{\text{ж}}$ – энтальпия мазута, кДж/кг;

t_0 – температура нагрева мазута, $t_0 = 402$ °С;

ρ_4^{20} – плотность мазута, $\rho_4^{20} = 0,9300$ г/см³;

$e = 0,522$;

$G_{\text{М}}$ – масса мазута, кг/ч.

$$I_{t_0}^{\text{п}} = (4 - \rho_{15}^{15}) \cdot a - 308,99, \quad (5)$$

$$I_{t_0}^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}} \cdot a, \quad (6)$$

$$\rho_{15}^{15} = \rho_4^{20} + 5 \cdot \alpha, \quad (7)$$

где α – средняя температурная поправка;

a – выбираемая согласно приложению 20 [20] (для жидких нефтепродуктов) и 21 [20] (для газообразных нефтепродуктов).

$$\rho_{15}^{15} = 0,9300 + 5 \cdot 0,00059 = 0,9330 \text{ г/см}^3,$$

$$I_{402}^{\text{п}} = (4 - 0,9330) \cdot 488,73 - 308,99 = 1189,94 \text{ кДж/кг},$$

$$I_{402}^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{0,9330}} \cdot 953,04 = 986,67 \text{ кДж/кг}.$$

Согласно формуле (4):

$$Q_{\text{М}} = 254275 \cdot 0,522 \cdot 1189,94 + 254275 \cdot (1 - 0,522) \cdot 986,67 = \\ = 277865856,42 \text{ кДж/ч}.$$

Так как в данном типе колонн, используемых на ООО «РН-Комсомольский НПЗ» для вакуумной перегонки мазута, не применяется водяной пар, то общее количество тепла, входящее в колонну, равно теплу, приходящему с мазутом.

$$Q_{\text{вх}} = Q_{\text{М}} = 277865856,42 \text{ кДж/ч}.$$

Рассчитываем тепло, выводимое из колонны:

1) с газами разложения, $Q_{\text{Г}}$, кДж/ч:

$$Q_{\text{Г}} = G_{\text{Г}} \cdot I_{\text{Г}}^{\text{п}}, \quad (8)$$

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$I_{t_{\Gamma}}^{\Pi} = (4 - \rho_{15}^{15}) \cdot a - 308,99, \quad (9)$$

где G_{Γ} – массовый расход газов разложения;

t_{Γ} – температура в верхней части колонны, $t_{\Gamma} = 98^{\circ}\text{C}$;

a – выбираемая согласно приложению 21 [20] (для газообразных нефтепродуктов).

$$\rho_4^{20} = 0,7232 \text{ г/см}^3,$$

$$\rho_{15}^{15} = 0,7232 + 5 \cdot 0,000087 = 0,7276 \text{ г/см}^3,$$

$$I_{98}^{\Pi} = (4 - 0,7276) \cdot 260,73 - 308,99 = 544,22 \text{ кДж/кг},$$

$$Q_{\Gamma} = 7911,85 \cdot 544,22 = 4305787,01 \text{ кДж/ч}.$$

2) с гудроном, $Q_{\text{Гудрон}}$, кДж/ч:

$$Q_{\text{Гудрон}} = G_{\text{Гудрон}} \cdot I_{t_{\text{Гудрон}}}^{\text{Ж}}, \quad (10)$$

$$I_{t_{\text{Гудрон}}}^{\text{Ж}} = \frac{1}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}} \cdot a, \quad (11)$$

где $t_{\text{Гудрон}}$ – температура низа колонны, $t_{\text{Гудрон}} = 349^{\circ}\text{C}$;

$G_{\text{Гудрон}}$ – массовый расход гудрона;

a – выбираемая согласно приложению 20 [20] (для жидких нефтепродуктов).

Согласно регламенту, плотность гудрона равна: $\rho_4^{20} = 1,0069 \text{ г/см}^3$.

$$\rho_{15}^{15} = 1,0069 + 5 \cdot 0,000515 = 1,0095 \text{ г/см}^3,$$

$$I_{349}^{\text{Ж}} = \frac{1}{\sqrt{1,0095}} \cdot 788,79 = 785,07 \text{ кДж/кг},$$

$$Q_{\text{Гудрон}} = 79568,03 \cdot 785,07 = 62466473,31 \text{ кДж/ч}.$$

3) с ВДФ, $Q_{\text{ВДФ}}$, кДж/ч:

$$Q_{\text{ВДФ}} = G_{\text{ВДФ}} \cdot I_{t_{\text{ВДФ}}}^{\text{Ж}}, \quad (12)$$

$$I_{t_{\text{ВДФ}}}^{\text{Ж}} = \frac{1}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}} \cdot a, \quad (13)$$

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

где $t_{ВДФ}$ – температура вакуумной дизельной фракции, $t_{ВДФ} = 161^\circ\text{C}$;

$G_{ВДФ}$ – массовый расход вакуумной дизельной фракции;

a – выбираемая согласно приложению 20 [20] (для жидких нефтепродуктов).

Согласно регламенту, плотность вакуумной дизельной фракции равна:

$$\rho_4^{20} = 0,8502 \text{ г/см}^3.$$

$$\rho_{15}^{15} = 0,8502 + 5 \cdot 0,000699 = 0,8537 \text{ г/см}^3,$$

$$I_{161}^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{0,8537}} \cdot 315,86 = 341,86 \text{ кДж/кг},$$

$$Q_{ВДФ} = 13483,69 \cdot 341,86 = 4609534,26 \text{ кДж/ч}.$$

4) с ВГ, $Q_{ВГ}$, кДж/ч:

$$Q_{ВГ} = G_{ВГ} \cdot I_{t_{ВГ}}^{\text{ж}}, \quad (14)$$

$$I_{t_{ВГ}}^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}} \cdot a, \quad (15)$$

где $t_{ВГ}$ – температура вакуумного газойля, $t_{ВГ} = 262^\circ\text{C}$;

$G_{ВГ}$ – массовый расход вакуумного газойля;

a – выбираемая согласно приложению 20 [20] (для жидких нефтепродуктов).

Согласно регламенту, плотность вакуумного газойля равна:

$$\rho_4^{20} = 0,9044 \text{ г/см}^3.$$

$$\rho_{15}^{15} = 0,9044 + 5 \cdot 0,000633 = 0,9076 \text{ г/см}^3,$$

$$I_{262}^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{0,9076}} \cdot 558,91 = 586,67 \text{ кДж/кг},$$

$$Q_{ВГ} = 153311,43 \cdot 586,67 = 89943216,64 \text{ кДж/ч}.$$

Общее количество тепла, выводимого из колонны, составит:

$$Q_{\text{вых}} = Q_{Г} + Q_{\text{Гудрон}} + Q_{ВДФ} + Q_{ВГ}, \text{ кДж/ч}, \quad (16)$$

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$Q_{\text{ВЫХ}} = 4305787,01 + 62466473,31 + 4609534,26 + 89943216,64 = 161325011,22 \text{ кДж/ч.}$$

Разность между теплом, входящим в колонну и выходящим из нее, необходимо снимать циркуляционным орошением:

$$\Delta Q = Q_{\text{ВХ}} - Q_{\text{ВЫХ}}, \quad (17)$$

$$\Delta Q = 277865856,42 - 161325011,22 = 116540845,20 \text{ кДж/ч,}$$

$$2 \cdot Q_{\text{ц.о.}} = \Delta Q, \quad (18)$$

$$Q_{\text{ц.о.}} = \frac{116540845,20}{2} = 58270422,60 \text{ кДж/ч.}$$

Циркуляционный поток жидкости имеет разность температур на выходе его из колонны и входе в нее $\Delta t = 50 \text{ }^\circ\text{C} - 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Примем $\Delta t = 75 \text{ }^\circ\text{C}$. Масса циркуляционного орошения составляет:

$$G_{\text{ц.о.}} = \frac{Q_{\text{ц.о.}}}{I_{t_{\text{ВЫХ}}}^{\text{ж}} - I_{t_{\text{ВХ}}}^{\text{ж}}}. \quad (19)$$

Для ВДФ температура на входе в колонну равна:

$$t_{\text{ВХ}} = 161 - 75 = 86 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Для ВГ температура на входе в колонну равна:

$$t_{\text{ВХ}} = 262 - 75 = 187 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Циркуляционные потоки ВДФ и ВГ на входе в колонну согласно формулам (13) и (15) равны:

$$I_{86}^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{0,8537}} \cdot 157,49 = 170,45 \text{ кДж/кг,}$$

$$I_{187}^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{0,9076}} \cdot 375,11 = 393,74 \text{ кДж/кг,}$$

$$G_{\text{ц.о.ВДФ}} = \frac{58270422,60}{341,86 - 170,45} = 339947,63 \text{ кДж/кг,}$$

$$G_{\text{ц.о.ВГ}} = \frac{58270422,60}{586,67 - 393,74} = 302028,83 \text{ кДж/кг.}$$

Оформим тепловой баланс в виде таблицы 6.

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Таблица 6 – Тепловой баланс блока вакуумной перегонки мазута

Продукт	Тепло входящее		Продукт	Тепло выходящее	
	t, °C	Q, кДж/ч		t, °C	Q, кДж/ч
Мазут	402	277865856,42	Газы разложения	98	4305787,01
			Гудрон	349	62466473,31
			ВДФ	161	4609534,26
			ВГ	262	89943216,64
			ц.о. ВДФ	86	58270422,60
			ц.о. ВГ	187	58270422,60
Итого:		277865856,42	Итого:		277865856,42

2.5 Скорость газа и диаметр колонны

Диаметр колонны определяем в зависимости от максимального расхода паров и их допустимой скорости в свободном сечении колонны. Изначально вычисляем объем паров (V , м³/с), проходящих в 1 час через сечение колонны в нескольких ее местах.

1) Диаметр верха колонны:

$$V = 22,4 \cdot \frac{T}{273} \cdot \frac{0,101}{P} \cdot \sum \frac{G_M}{M_M}, \quad (20)$$

где T – температура системы, К;

P – давление в системе, МПа;

G_M – расход мазута, к/ч;

M_M – молекулярная масса мазута.

Вычисляем молекулярную массу мазута M_M :

$$M_M = \frac{44,99 \cdot \rho_{15}^{15}}{1,03 - \rho_{15}^{15}}, \quad (21)$$

где ρ_{15}^{15} – плотность мазута, вычисленная ранее, $\rho_{15}^{15} = 0,9330$ г/см³.

$$M_M = \frac{44,99 \cdot 0,9330}{1,03 - 0,9330} = 432,74,$$

										Лист
										36
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР.171049.180301.ПЗ					

$$V_1 = 22,4 \cdot \frac{402 + 273}{273} \cdot \frac{0,101}{0,009} \cdot \frac{254275}{432,74 \cdot 3600} = 101,45 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Диаметр колонны находим по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot v_p}}, \quad (22)$$

где v_p – рабочая скорость газа, м/с.

В общем случае рабочую скорость выбирают из соотношения:

$$v_p = 0,75 \div 0,85 \cdot v_3, \quad (23)$$

где v_3 – скорость захлебывания, м/с.

$$v_3 = 3,14 \cdot k \cdot \left(\frac{a}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_{ж}} \cdot \left(\frac{\mu_{ж}}{0,001} \right)^{0,12} \cdot \varphi \right)^{-0,5}, \quad (24)$$

где k – коэффициент, определяемый при помощи рисунка 2.2 [21],
 $k = 0,5$;

a – удельная поверхность насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

ε – доля свободного объема насадки;

ρ_r – плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\mu_{ж}$ – коэффициент динамической вязкости жидкости, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

φ – отношение плотности рабочей жидкости к плотности воды.

Для расчета по формуле (24) принимаем следующие данные:

$$a = 200 \text{ м}^2 / \text{м}^3;$$

$$\varepsilon = 0,90;$$

$$\rho_r = 1,99 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$\rho_{ж} = 978,15 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$\mu_{ж} = 0,0004984 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\varphi = \frac{\rho_{ж}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}, \quad (25)$$

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

где $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – плотность воды, $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 998 \text{ кг/м}^3$.

$$\varphi = \frac{978,15}{998} = 0,98011,$$

$$v_3 = 3,14 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{200}{0,90^3} \cdot \frac{1,99}{978,15} \cdot \left(\frac{0,0004984}{0,001} \right)^{0,12} \cdot 0,98011 \right)^{-0,5} = 2,21 \text{ м/с.}$$

Принимаем рабочую скорость равной:

$$v_p = 0,85 \cdot 2,21 = 1,88 \text{ м/с,}$$

$$D_B = \sqrt{\frac{4 \cdot 101,45}{3,14 \cdot 1,88}} = 8,29 \text{ м.}$$

Согласно ГОСТ 21944-76 [22] диаметр верха колонны принимаем $D_B = 8,5 \text{ м}$.

Для нового значения диаметра насадочного аппарата уточняем рабочую скорость газа:

$$v_p = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}, \quad (26)$$

$$v_p = \frac{4 \cdot 101,45}{3,14 \cdot 8,5^2} = 1,79 \text{ м/с.}$$

2) Диаметр низа колонны:

Вычисляем молекулярную массу гудрона $M_{\text{Гудрон}}$:

$$M_{\text{Гудрон}} = \frac{44,29 \cdot \rho_{15}^{15}}{1,03 - \rho_{15}^{15}}, \quad (27)$$

где ρ_{15}^{15} – плотность гудрона.

Согласно регламенту, плотность гудрона равна: $\rho_4^{20} = 1,0069 \text{ г/см}^3$.

$$\rho_{15}^{15} = 1,0069 + 5 \cdot 0,000515 = 1,0095,$$

$$M_{\text{Гудрон}} = \frac{44,29 \cdot 1,0095}{1,03 - 1,0095} = 2181,01.$$

Вычисляем давление низа колонны P_n :

$$P_n = P + n \cdot \Delta P_T, \quad (28)$$

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

где P – давление в системе;

n – число отгонных тарелок, примем $n = 2$;

ΔP_T – разница давлений между отгонными тарелками, $\Delta P_T = 0,4$ кПа.

$$P_H = 0,009 + 2 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,0098 \text{ МПа,}$$

$$V_2 = 22,4 \cdot \frac{402 + 273}{273} \cdot \frac{0,101}{0,0098} \cdot \frac{79568,03}{2181,01 \cdot 3600} = 5,78 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

Диаметр низа колонны рассчитываем по формуле (22):

$$D_H = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,78}{3,14 \cdot 0,48}} = 3,92 \text{ м.}$$

Согласно ГОСТ 21944-76 [22] диаметр низа колонны принимаем $D_H = 4$ м.

Для нового значения диаметра низа колонны уточняем рабочую скорость газа по формуле (26):

$$v_p = \frac{4 \cdot 5,78}{3,14 \cdot 4^2} = 0,46 \text{ м/с.}$$

2.6 Гидравлическое сопротивление насадки

1) *Определение высоты насадочного слоя:*

Определяем рабочее флегмовое число и число теоретических тарелок для первой секции.

Для выполнения расчета заменяем имеющиеся фракции углеводородов на простые алканы нормального строения:

1) Фракция ВГ. Принимаем: н-гексакозан ($C_{26}H_{54}$), $t_{кип} = 417$ °С, $M = 366$ кг/кмоль.

2) Фракция гудрона. Принимаем: н-пентатриаконтан ($C_{35}H_{72}$), $t_{кип} = 500$ °С, $M = 492$ кг/кмоль.

Заменяем перегоняемую смесь углеводородов в первой секции на бинарную смесь. В качестве низкокипящего (НК) компонента принимаем н-гексакозан ($C_{26}H_{54}$), а в качестве высококипящего (ВК) – н-пентатриаконтан ($C_{35}H_{72}$).

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Производим расчет мольных концентраций на входе и на выходах из секции.

Мольную концентрацию на входе определяем на основе массовой концентрации, которую рассчитали в материальном балансе:

$$\chi_f = \frac{\frac{\chi_f}{M_A}}{\frac{\chi_f}{M_A} + \frac{1-\chi_f}{M_B}} \quad (29)$$

Исходя из таблицы 5, χ_f принимаем равным 0,687.

$$\chi_f = \frac{0,687}{\frac{0,687}{366} + \frac{1-0,687}{492}} = 0,747 \text{ мол. дол.}$$

Состав куба дистиллята определяем на основе средних температур кипения фракции и рассчитываем по формуле:

$$\chi = \frac{P_{\text{атм}} - P_{\text{вк}}}{P_{\text{нк}} - P_{\text{вк}}}, \quad (30)$$

где $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление,

$P_{\text{нк}}$ и $P_{\text{вк}}$ – давление насыщенных паров индивидуальных компонентов при температуре фракции, определяются по уравнению Антуана:

$$P = 10^{\frac{A-B}{C+t}} \cdot 132,89 \text{ Па}, \quad (31)$$

где A, B, C – параметры Антуана для каждого компонента;

t – температура, °C.

Параметры уравнения для каждого компонента приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры уравнения Антуана

Наименование	Коэффициенты		
	A	B	C
н-гексакозан	7,62867	2434,747	96,1
н-пентатриаконтан	5,778045	1598,23	40,5

Рассчитаем $P_{\text{нк}}$ и $P_{\text{вк}}$ при температуре равной 500 °C по формуле (31):

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$P_{\text{НК}}^{500} = 10^{7,62867 - \frac{2434,747}{96,1+500}} \cdot 132,89 = 465266 \text{ Па,}$$

$$P_{\text{БК}}^{500} = 10^{5,778045 - \frac{1598,23}{40,5+500}} \cdot 132,89 = 88022 \text{ Па.}$$

Расчет состава куба: $P_{\text{НК}}$ и $P_{\text{БК}}$ рассчитываются при температуре равной 500 °C по формуле (30):

$$\chi_w = \frac{10^5 - 88022}{465266 - 88022} = 0,0318 \text{ мол. дол.}$$

Рассчитаем $P_{\text{НК}}$ и $P_{\text{БК}}$ при температуре равной 417 °C по формуле (31):

$$P_{\text{НК}}^{417} = 10^{7,62867 - \frac{2434,747}{96,1+417}} \cdot 132,89 = 101623 \text{ Па,}$$

$$P_{\text{БК}}^{417} = 10^{5,778045 - \frac{1598,23}{40,5+417}} \cdot 132,89 = 25594 \text{ Па.}$$

Расчет состава дистиллята: $P_{\text{НК}}$ и $P_{\text{БК}}$ рассчитываются при температуре равной 417 °C по формуле (30):

$$\chi_D = \frac{10^5 - 25594}{101623 - 25594} = 0,979 \text{ мол. дол.}$$

Температуры на выходе из куба и дистиллята определяем по формулам методом последовательного приближения:

$$P_{\text{БК}}(t_w) \cdot \chi_w + P_{\text{БК}}(t_w) \cdot (1 - \chi_w) = P_{\text{К}}, \quad (32)$$

где $P_{\text{К}}$ – давление в колонне, примем значение $P_{\text{К}} = 32361,95 \text{ Па}$.

Температура на выходе из куба равна: $t_w = 431 \text{ °C}$.

$$P_{\text{НК}}(t_D) \cdot \chi_D + P_{\text{НК}}(t_D) \cdot (1 - \chi_D) = P_{\text{К}}. \quad (33)$$

Температура на выходе из дистиллята равна: $t_D = 368 \text{ °C}$.

Определяем относительную летучесть α по формуле:

$$\alpha = \frac{P_{\text{НК}}}{P_{\text{БК}}}. \quad (34)$$

При температуре $t_w = 431 \text{ °C}$:

$$P_{\text{НК}}^{431} = 10^{7,62867 - \frac{2434,747}{96,1+431}} \cdot 132,89 = 135839 \text{ Па,}$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР.171049.180301.ПЗ				41

$$P_{\text{БК}}^{431} = 10^{\frac{5,778045 \cdot 1598,23}{40,5+431}} \cdot 132,89 = 32499 \text{ Па,}$$

$$\alpha_1 = \frac{135839}{32499} = 4,18.$$

При температуре $t_D = 368^\circ\text{C}$:

$$P_{\text{НК}}^{368} = 10^{\frac{7,62867 \cdot 2434,747}{96,1+368}} \cdot 132,89 = 32062 \text{ Па,}$$

$$P_{\text{БК}}^{368} = 10^{\frac{5,778045 \cdot 1598,23}{40,5+368}} \cdot 132,89 = 9752 \text{ Па,}$$

$$\alpha_2 = \frac{32062}{9752} = 3,29.$$

Находим среднюю относительную летучесть:

$$\alpha = \frac{4,18 + 3,29}{2} = 3,74.$$

Строим кривую равновесия по уравнению:

$$y = \frac{\alpha \cdot x}{1 + (\alpha - 1) \cdot x}. \tag{35}$$

Кривая равновесия изображена на рисунке 2.

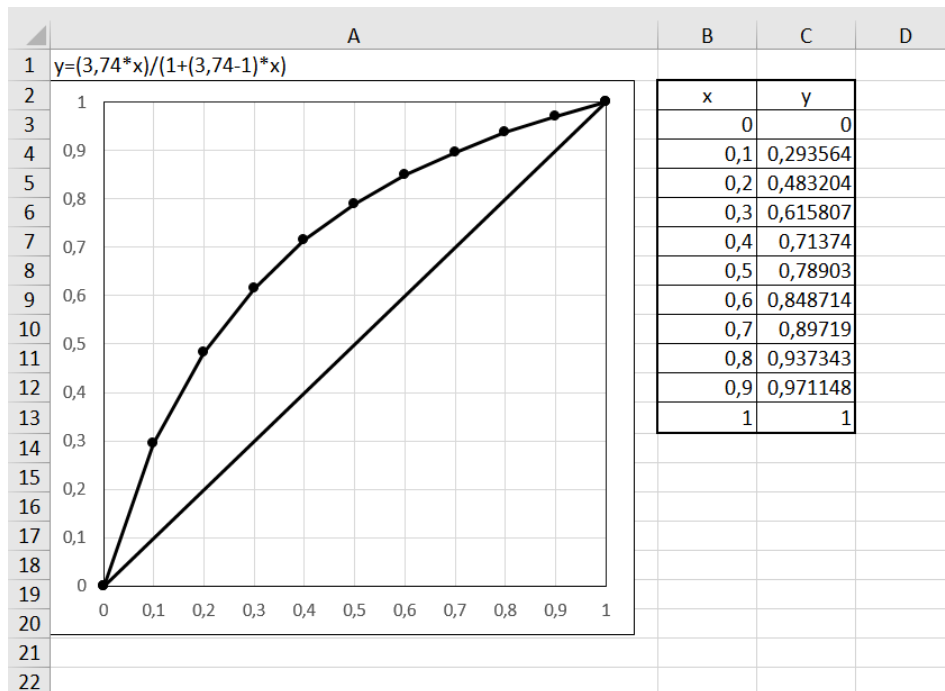


Рисунок 2 – Кривая равновесия

Состав пара, уходящего с питательной тарелки, определяем графическим методом. Он равен: $y_f = 0,917$ мол. дол.

Рассчитываем минимальное флегмовое число R_{\min} :

$$R_{\min} = \frac{\chi_D - y_f}{y_f - \chi_f}, \quad (36)$$

где значение $y_f = 0,917$ найдено по равновесной кривой.

$$R_{\min} = \frac{0,979 - 0,917}{0,917 - 0,747} = 0,36.$$

Определяем оптимальное (рабочее) число флегмы:

$$R = \beta \cdot R_{\min}, \quad (37)$$

где β – избыток флегмы, $\beta = 2$.

$$R = 2 \cdot 0,36 = 0,72.$$

Исходя из рабочего флегмового числа строим рабочую линию и определяем по рисунку 3 число теоретических тарелок для первой секции колонны.

Уравнение рабочей линии для первой секции колонны:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{\chi_D}{R+1}, \quad (38)$$

$$y = \frac{0,72}{0,72+1} \cdot x + \frac{0,979}{0,72+1} = 0,419 \cdot x + 0,57.$$

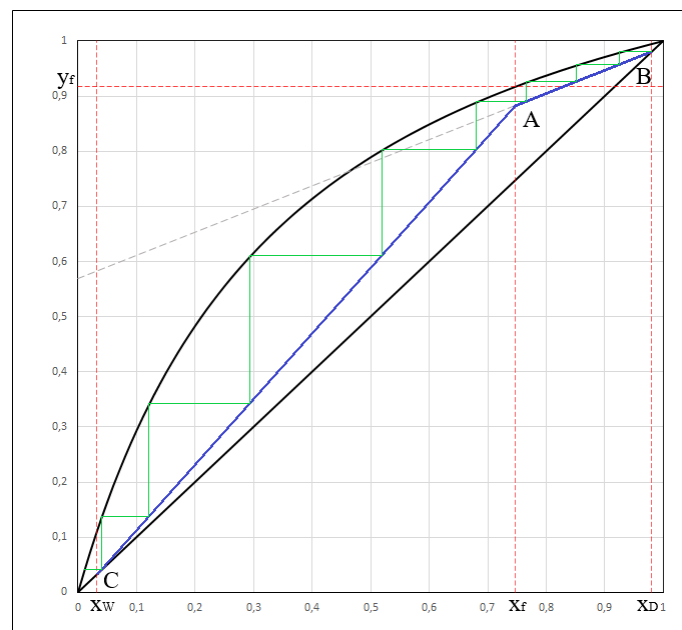


Рисунок 3 – Теоретические ступени

									Лист
									43
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ВКР.171049.180301.ПЗ				

Отложив по оси ординат 0,57, наносим рабочую линию АВ для верхней части первой секции колонны. Через точки А и С проводим рабочую линию для нижней части.

Число теоретических тарелок $N_{\text{ТТ}} = 8$;

Число теоретических тарелок в верхней части $N_{\text{В}} = 3$;

Число теоретических тарелок в нижней части $N_{\text{Н}} = 5$.

Определяем высоту насадочного слоя:

$$H = N_{\text{ТТ}} \cdot h_{\text{ТТ}}, \quad (39)$$

где $h_{\text{ТТ}}$ – высота, эквивалентная одной теоретической тарелке, мм.

Для насадки «ВАКУПАК» $h_{\text{ТТ}}$ составляет 700 – 1100 мм [23], принимаем $h_{\text{ТТ}} = 700$ мм.

$$H = 8 \cdot 700 = 5600 \text{ мм.}$$

2) *Определение гидравлического сопротивления:*

Определяем гидравлическое сопротивление неорошаемого слоя насадки:

$$\Delta P_{\text{сyx}} = \lambda \cdot \frac{H}{d_3} \cdot \frac{\rho_{\text{г}} \cdot v^2}{2}, \quad (40)$$

где λ – коэффициент трения;

H – высота слоя насадки, м;

d_3 – эквивалентный диаметр канала, м;

v – скорость газа в канале, м/с.

Обычно эквивалентный диаметр выражают через основные характеристики насадочных тел – удельную поверхность и долю свободного объема:

$$d_3 = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a}, \quad (41)$$

$$d_3 = \frac{4 \cdot 0,90}{200} = 0,018 \text{ м.}$$

Определяем скорость газа в канале:

$$v = \frac{v_{\text{р}}}{\varepsilon}, \quad (42)$$

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$v = \frac{1,79}{0,90} = 1,99 \text{ м/с.}$$

$$\lambda = \frac{18,5}{\text{Re}_r^{0,6}}, \quad (43)$$

$$\text{Re}_r = \frac{v_p \cdot d_3 \cdot \rho_r}{\mu_r}. \quad (44)$$

где μ_r – коэффициент динамической вязкости газа, Па·с.

Принимаем μ_r равным $0,73 \cdot 10^{-5}$ Па·с.

$$\text{Re}_r = \frac{1,79 \cdot 0,018 \cdot 1,99}{0,73 \cdot 10^{-5}} = 8783,$$

$$\lambda = \frac{18,5}{8783^{0,6}} = 0,0796,$$

$$\Delta P_{\text{сух}} = 0,0796 \cdot \frac{5,600}{0,018} \cdot \frac{1,99 \cdot 1,99^2}{2} = 97,58 \text{ Па.}$$

Рассчитаем полное гидравлическое сопротивление:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\text{п-ж}} = \Delta P_{\text{сух}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta P_{\text{п-ж}}}{\Delta P_{\text{сух}}} \right) = A \cdot \Delta P_{\text{сух}}, \quad (45)$$

где $\Delta P_{\text{п-ж}}$ – сопротивление, обусловленное взаимодействием потоков пара и жидкости, Па;

A – коэффициент показывающий, во сколько раз сопротивление орошаемой насадки больше, чем сухой.

$$A = 1 + C \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^{0,405} \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_{\text{ж}}} \right)^{0,225} \cdot \left(\frac{\mu_{\text{ж}}}{\mu_r} \right)^{0,0405}, \quad (46)$$

где L – массовый расход жидкости, $L = 142533$ кг/ч;

G – массовый расход газа, $G = 111742$ кг/ч;

C – коэффициент, зависящий от величины отношения рабочей скорости газа к скорости захлебывания, находим по рисунку 2.3 источника [21], $C = 4,5$.

$$A = 1 + 3,6 \cdot \left(\frac{142533}{111742} \right)^{0,405} \cdot \left(\frac{1,99}{978,15} \right)^{0,225} \cdot \left(\frac{0,4984 \cdot 10^{-3}}{0,73 \cdot 10^{-5}} \right)^{0,0405} = 2,17,$$

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\Delta P = 2,17 \cdot 97,58 = 212 \text{ Па.}$$

Расчетным путем было определено:

- диаметр верха колонны $D_B = 8,5 \text{ м}$;
- диаметр низа колонны $D_H = 4 \text{ м}$;
- высота насадочного слоя $H = 5600 \text{ мм}$;
- гидравлическое сопротивление $\Delta P = 212 \text{ Па}$.

2.7 Расчет высоты вакуумной колонны

Рассчитаем полную высоту вакуумной колонны по следующей формуле:

$$H_K = H \cdot n_c + h_p \cdot n_n + Z_H + Z_B, \quad (47)$$

где H – высота насадочного слоя в одной секции;

n_c – число секций;

n_n – число насадок в колонне;

h_p – высота промежутков между насадками, в которых устанавливают распределители жидкости и глухие тарелки;

Z_B – высота сепарационного пространства над насадкой;

Z_H – расстояние между дном колонны и насадкой.

Используя технологический регламент примем следующие данные для расчета высоты вакуумной колонны:

$$n_c = 2;$$

$$n_n = 4;$$

$$h_p = 1,5 \text{ м};$$

$$Z_B = 2,3 \text{ м};$$

$$Z_H = 4 \text{ м.}$$

$$H_K = 5,6 \cdot 2 + 1,5 \cdot 4 + 4 + 2,3 = 23,5 \text{ м.}$$

2.8 Обоснование модернизации вакуумной колонны

С целью увеличения отбора вакуумного газойля предлагается модернизировать колонну, а именно заменить насадки типа «ВАКУПАК» на другой

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						46
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

тип регулярной насадки с более низким гидравлическим сопротивлением без изменения габаритных размеров колонны.

Разработанная фирмой НПК «Кедр-89» противоточная насадка «ВАКУПАК» внедрена на ряде нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий [24]. Показатели качества и экономический эффект от внедрения оказались на уровне зарубежных аналогов [25]. Тем не менее, основным технологическим недостатком является то, что сечения для прохода паровой и жидкой фаз совпадают. По высоте вакуумной колонны необходимы локальные конструктивные изменения насадки для обеспечения массообмена из-за неравномерного распределения паровых и жидкостных нагрузок: устанавливать специальные просечные элементы и отверстия, принудительно увеличивать расход потоков пара или жидкости. Это приводит к усложнению конструкции, появлению большого числа конфигураций для определенной парожидкостной нагрузки.

Хорошей альтернативой насадке «ВАКУПАК» является насадка «Кедр», разработанная той же фирмой.

На рисунке 4 изображена насадка «Кедр», представляющая собой пакет вертикальных листов с двунаправленным гофрированием, обеспечивающим обеим фазам возможность перехода в смежные каналы, образованные гофрами. Для улучшения смачивания насадки и создания более равномерной пленки жидкости на поверхности листов перед гофрированием наносят мелкое рифление. Условия смачиваемости существенно влияют на массообменные характеристики насадок: так ВЭТТ для насадки «ВАКУПАК» составляет 0,7 – 1,1 м, а для насадки «Кедр» с улучшенной смачиваемостью – 0,3 – 0,5 м. Удельная поверхность насадки «Кедр» различных модификаций составляет 270 – 400 м²/м³, а удельная металлоемкость – 210 – 315 кг/м³, что находится на уровне лучших зарубежных аналогов [23].

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						47
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		



Рисунок 4 – Регулярная насадка «Кедр»

Произведем расчет гидравлического сопротивления для насадки «Кедр».

Исходные данные:

Доля свободного объема для современных регулярных насадок, предназначенных для вакуумной перегонки, не падает ниже 0,90, принимаем $\varepsilon = 0,90$.

Величину удельной поверхности насадки принимаем $a = 270 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Высота, эквивалентная одной теоретической тарелке (ВЭТТ) для насадки «Кедр» составляет 300 – 500 мм [23], принимаем $h_{\text{ТТ}} = 300 \text{ мм}$.

Расчет ведем без изменения диаметра аппарата и числа теоретических тарелок.

Определяем скорость захлебывания по формуле (24):

$$v_z = 3,14 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{270}{0,90^3} \cdot \frac{1,99}{978,15} \cdot \left(\frac{0,0004984}{0,001} \right)^{0,12} \cdot 0,98011 \right)^{-0,5} = 1,90 \text{ м/с.}$$

По формуле (23) определяем рабочую скорость:

$$v_p = 0,85 \cdot 1,90 = 1,62 \text{ м/с.}$$

Определяем скорость газа в канале по формуле (42):

$$v = \frac{1,62}{0,90} = 1,8 \text{ м/с.}$$

Определяем высоту насадочного слоя по формуле (39):

$$H = 8 \cdot 300 = 2400 \text{ мм.}$$

Определяем эквивалентный диаметр по формуле (41):

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

$$d_3 = \frac{4 \cdot 0,90}{270} = 0,013 \text{ м.}$$

Определяем коэффициент трения по формулам (43), (44):

$$Re_r = \frac{1,62 \cdot 0,013 \cdot 1,99}{0,73 \cdot 10^{-5}} = 5741,$$

$$\lambda = \frac{18,5}{5741^{0,6}} = 0,1027.$$

Определяем гидравлическое сопротивление неорошаемого слоя насадки по формуле (40):

$$\Delta P_{\text{сyx}} = 0,1027 \cdot \frac{2,400}{0,013} \cdot \frac{1,99 \cdot 1,8^2}{2} = 61,12 \text{ Па.}$$

Рассчитаем полное гидравлическое сопротивление по формулам (45), (46):

Коэффициент С, зависящий от величины отношения рабочей скорости газа к скорости захлебывания, принимаем по рисунку 2.3 источника [21] равным $C = 4$.

$$A = 1 + 4 \cdot \left(\frac{142533}{111742} \right)^{0,405} \cdot \left(\frac{1,99}{978,15} \right)^{0,225} \cdot \left(\frac{0,4984 \cdot 10^{-3}}{0,73 \cdot 10^{-5}} \right)^{0,0405} = 2,30,$$

$$\Delta P = 2,30 \cdot 61,12 = 141 \text{ Па.}$$

Исходя из закономерности о том, что гидравлическое сопротивление увеличивается пропорционально квадрату увеличения отбора вакуумного газойля можно сделать вывод, что выход вакуумного газойля всегда ограничивается некой постоянной величиной максимального гидравлического сопротивления в системе, достигнув которой, расход продукта перестает расти.

Решением данной проблемы является уменьшение изначального гидравлического сопротивления насадки. Исходя из закономерности, описанной выше, можно сделать вывод о следующем закономерном влиянии гидравлического сопротивления насадки на выход вакуумного газойля:

$$G_1^2 \cdot \Delta P_1 = G_2^2 \cdot \Delta P_2, \tag{48}$$

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

где G_1 – массовый расход вакуумного газойля до замены насадки;

G_2 – массовый расход вакуумного газойля после замены насадки;

ΔP_1 – гидравлическое сопротивление заменяемой насадки;

ΔP_2 – гидравлическое сопротивление новой насадки.

Рассчитаем потенциальный выход вакуумного газойля при замене насадки «ВАКУПАК» на насадку «Кедр»:

$$G_2^K = \sqrt{\frac{153311,43^2 \cdot 212}{141}} = 187989,20 \text{ кг/ч.}$$

Составим материальный баланс процесса (таблица 8):

Таблица 8 – Материальный баланс с насадкой «Кедр»

Приход			Расход		
Наименование	% масс. на сырье	кг/ч	Наименование	% масс. на сырье	кг/ч
Мазут	100	254275	Газы разложения	3,11	7911,85
			Вакуумная дизельная фракция	5,31	13483,69
			Вакуумный газойль	73,93	187989,20
			Гудрон	17,66	44890,26
Итого:	100	254275	Итого:	100,00	254275

Расчет показал, что гидравлическое сопротивление насадки «Кедр» меньше, чем насадки «ВАКУПАК», что способствует увеличению выхода вакуумного газойля на 13,64 %.

Однако, насадка «Кедр», как и насадка «ВАКУПАК», является противоточной, и не решает всех проблем насадки «ВАКУПАК», описанных выше.

В настоящее время широкое распространение для вакуумной перегонки получили перекрестноточные насадки, обладающие следующими преимуществами:

– расширение границ диапазона устойчивой работы колонны и исключение возможности захлебывания из-за отсутствия подпора жидкости потоком пара;

- наличие возможности повышения КПД при диспропорциональных (резко отличающихся) нагрузках по пару и жидкости;
- отсутствие проблемы работы колонн с «высокопенающимися» жидкостями;
- повышение эффективности контакта пара и жидкости благодаря отсутствию каплеуноса жидкости;
- устранение «пристеночного» эффекта течения жидкости и «канального» движения потоков;
- повышена надежность работы насадки в загрязненных средах.

Представителем данного типа насадок является насадка «РЕТОН».

Разработанная регулярная перекрестноточная насадка «РЕТОН», в отличие от известных типов контактных устройств, таких как противоточная насадка, прямоточные устройства, перекрестноточная тарелка, позволяет сочетать преимущества этих устройств и в существенной мере исключить их недостатки. Перекрестноточная регулярная насадка «РЕТОН» обладает способностью при проектировании колонны самостоятельно регулировать сечение для прохода пара в насадке от сечения для прохода жидкости. Это свойство перекрестного тока в насадке позволяет решить проблему организации эффективного контакта при неравнозначных расходах пара и жидкости в колонне.

Стендовые испытания насадки «РЕТОН», подтвержденные промышленными испытаниями колонн в различных процессах с неравнозначными паровыми и жидкостными нагрузками, показали:

- захлебывание колонны возникает, в среднем, при нагрузках в 2,5 раза больших, чем при противотоке фаз на регулярных насадках;
- эффективность одной секции колонны с насадкой «РЕТОН» составляет от 60 % до 99 % при высоте секций, соразмерной с межтарельчатым расстоянием в колонне, оборудованной тарелками;
- специальное секционирование и перераспределение потоков пара и жидкости увеличивает эффективность, в среднем, в 1,5 раза;
- ВЭТТ колонны с насадкой «РЕТОН» составляет 400 – 1000 мм.

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Произведем расчет гидравлического сопротивления для насадки «РЕТОН».

Исходные данные:

Доля свободного объема насадки $\varepsilon = 0,90$.

Величина удельной поверхности насадки «РЕТОН» изменяется в пределах $125 - 700 \text{ м}^2/\text{м}^3$, принимаем $a = 180 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

ВЭТТ принимаем $h_{\text{ТТ}} = 400 \text{ мм}$.

Расчет ведем без изменения диаметра аппарата и числа теоретических тарелок.

Определяем скорость захлебывания по формуле (24):

$$v_3 = 3,14 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{180}{0,90^3} \cdot \frac{1,99}{978,15} \cdot \left(\frac{0,0004984}{0,001} \right)^{0,12} \cdot 0,98011 \right)^{-0,5} = 2,33 \text{ м/с.}$$

По формуле (23) определяем рабочую скорость:

$$v_p = 0,85 \cdot 2,33 = 1,98 \text{ м/с.}$$

Определяем скорость газа в канале по формуле (42):

$$v = \frac{1,98}{0,90} = 2,2 \text{ м/с.}$$

Определяем высоту насадочного слоя по формуле (39):

$$H = 8 \cdot 400 = 3200 \text{ мм.}$$

Определяем эквивалентный диаметр по формуле (41):

$$d_3 = \frac{4 \cdot 0,90}{180} = 0,02 \text{ м.}$$

Определяем коэффициент трения по формулам (43), (44):

$$Re_r = \frac{1,98 \cdot 0,02 \cdot 1,99}{0,73 \cdot 10^{-5}} = 10795,$$

$$\lambda = \frac{18,5}{10795^{0,6}} = 0,07.$$

Определяем гидравлическое сопротивление неорошаемого слоя насадки по формуле (40):

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$\Delta P_{\text{сyx}} = 0,07 \cdot \frac{3,200}{0,02} \cdot \frac{1,99 \cdot 2,2^2}{2} = 53,94 \text{ Па.}$$

Рассчитаем полное гидравлическое сопротивление по формулам (45), (46):

Коэффициент С принимаем по рисунку 2.3 источника [21] равным С = 4.

$$A = 1 + 4 \cdot \left(\frac{142533}{111742} \right)^{0,405} \cdot \left(\frac{1,99}{978,15} \right)^{0,225} \cdot \left(\frac{0,4984 \cdot 10^{-3}}{0,73 \cdot 10^{-5}} \right)^{0,0405} = 2,30,$$

$$\Delta P = 2,30 \cdot 53,94 = 124 \text{ Па.}$$

Рассчитаем потенциальный выход вакуумного газойля при замене насадки «ВАКУПАК» на насадку «РЕТОН»:

$$G_2^P = \sqrt{\frac{153311,43^2 \cdot 212}{124}} = 200461,80 \text{ кг/ч.}$$

Составим материальный баланс процесса (таблица 9):

Таблица 9 – Материальный баланс с насадкой «РЕТОН»

Приход			Расход		
Наименование	% масс. на сырье	кг/ч	Наименование	% масс. на сырье	кг/ч
Мазут	100	254275	Газы разложения	3,11	7911,85
			Вакуумная дизельная фракция	5,31	13483,69
			Вакуумный газойль	78,83	200461,80
			Гудрон	12,75	32417,66
Итого:	100	254275	Итого:	100,00	254275

Исходя из произведенных расчетов можно сделать вывод о том, что насадка «РЕТОН» имеет более низкое гидравлическое сопротивление по сравнению со своими конкурентами, что способствует увеличению выхода вакуумного газойля на 18,54 %. Применение данной насадки будет значительно повышать эффективность работы вакуумной колонны, так как помимо низкого гидравлического сопротивления данная насадка лишена большинства недостатков двух рассмотренных выше насадок.

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

3.1 Основные требования безопасности при эксплуатации установки

3.1.1 Характеристика опасностей производства

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 ЭЛОУ-АВТ по пожарной опасности наружных установок относится к категории АН – повышенная взрывопожароопасность [26].

Основные опасности на установке ЭЛОУ-АВТ 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), повышенного давления и вакуума;
- наличием открытого огня на установке для нагрева нефти и мазута – в составе установки имеются технологические печи, что может привести к взрыву при загазованности воздуха в районе печей. Не герметичность отключающей аппаратуры на линиях подачи газа в печи П-1, П-2 и несоблюдение правил розжига последних могут привести к взрыву в топочном пространстве печей;
- возможностью утечек через арматуру, фланцы и не плотности сероводородсодержащего газа, являющегося токсичным веществом 2-го класса опасности;

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Куранова Д. С.</i>				<i>Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Охотникова Г. Г.</i>					У	54	64
<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>							

– обслуживающий персонал, находящийся на установке, может быть травмирован в случае аварии, сопровождающейся взрывом парогазовоздушных смесей;

– наличием технического азота для продувок оборудования, который может вызвать удушье от недостатка кислорода.

В аварийных ситуациях, в результате которых возможно возгорание, образование взрывоопасных смесей в помещениях и загазованность аппаратного двора, технологический персонал установки должен руководствоваться планом локализации и ликвидации аварий.

Основными причинами, способными привести к аварии, являются следующие факторы:

– отступление от норм установленного технологического режима эксплуатации;

– разгерметизация фланцев трубопроводов или аппаратов с нефтепродуктами;

– неисправность средств сигнализации и блокировок;

– несоблюдение инструкций по промышленной безопасности и противопожарных правил.

С целью обеспечения безопасности при ведении процесса предусматриваются следующие мероприятия [27]:

– технологический процесс ведётся 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;

– трубопроводы и аппаратура, имеющие температуру стенки более 45°C, теплоизолированы;

– на жидкостных и газовых линиях установлены обратные клапаны;

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						55
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

- сброс продуктов из аппаратов на факел при аварийных ситуациях возможен по байпасу предохранительных клапанов;
- 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 А и азотом.

В таблице 10 приведены сведения пожароопасных и токсичных свойств веществ, применяемых на вакуумном блоке установки ЭЛОУ-АВТ.

Таблица 10 – Характеристика пожароопасных и токсичных свойств сырья и готовой продукции

Наименование сырья, готовой продукции	Класс опасности вещества	Агрегатное состояние при н.у.	Возможность воспламенения или взрыва при воздействии:		Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)
			Воды	Кислорода	
1	2	3	4	5	6
Углеводородные газы	4	ГГ	нет	да	Наркотическое воздействие на центральную нервную систему. При высоких концентрациях – отравление с потерей сознания. При длительном вдыхании и низкой концентрации приводит к хроническим заболеваниям.
Мазут	4	ГЖ	нет	да	При повышенной температуре возможны отравления выделяющимися парами и термические ожоги.

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6
Вакуумный газойль	4	ГЖ	нет	да	Не обладает способностью кумуляции (накапливания), прониканию через не поврежденные кожные покровы, не вызывает повышенной чувствительности организма и усиленного роста тканей. При длительном воздействии на кожу может вызвать кожные заболевания. При повышенной температуре возможны отравления выделяющимися парами и термические ожоги.
ВДФ	4	ЛВЖ	нет	да	Возможны хронические отравления парами при длительном контакте с ними. При воздействии на кожу может вызвать кожные заболевания.
Гудрон	4	ГЖ	нет	да	Вредного воздействия на организм человека не вызывает, но при длительном воздействии на кожу может вызвать кожные заболевания.

3.1.2 Возможные инциденты и аварийные ситуации, способы их предупреждения и локализации

Для уменьшения опасных и вредных производственных рисков 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 [27].

Неполадки и аварийные ситуации, возможные при ведении технологического процесса, эксплуатации оборудования, которые могут стать причиной пожара, взрыва, загрязнения окружающей среды включены в таблицу 11.

Таблица 11 – Возможные инциденты в работе вакуумного блока и способы их ликвидации

Возможные инциденты, аварийные ситуации	Причины возникновения инцидентов, аварийных ситуаций	Действия персонала по предупреждению и устранению аварийных ситуаций
Падение вакуума в колонне К-3	Повышение температуры низа колонны К-1 более 380 °С	Увеличить подачу квенча в куб колонны К-1, снизить температуру низа колонны
	Попадание легких фракций в сырье колонны К-1	Отрегулировать режим работы атмосферной колонны блока атмосферной перегонки нефти
Падение температуры мазута на выходе из печей П-1, П-2	Усиление коксообразования в змеевиках печи, увеличение местного перегрева труб, понижение коэффициента теплопередачи	Сообщить диспетчеру завода, начальнику цеха, начальнику установки
		Понизить производительность установки

3.2 Должностные инструкции оператора установки

Технологический и дежурный персонал, обслуживающий установку первичной переработки нефти ЭЛОУ-АВТ:

- старший оператор технологических установок;
- оператор технологических установок;
- машинист технологических насосов;
- слесарь по ремонту технологического оборудования;
- электромонтер по обслуживанию и ремонту электрооборудования;
- приборист КИП и А.

Работники указанных специальностей обслуживают оборудование всех стадий установки.

Должностные инструкции оператора технологических установок включают [27]:

1. Ведение технологического процесса и контроль исправного состояния рабочего и резервного оборудования на технологических установках:

- Соблюдение норм технологического режима;
- Проверка состояния работы оборудования, коммуникаций, герметичности всех соединений на рабочем месте;
- Контроль работы КИП и средств сигнализации;
- Соблюдение требуемых условий безопасной эксплуатации технологического оборудования, трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры.

2. Регулирование производительности блока (отделения) установки.

3. Выявление и устранение отклонений технологического процесса от заданного режима:

- Ведение технологического режима в соответствии с нормами технологического регламента, по показаниям контрольно-измерительных приборов и результатам анализов;
- Контроль показаний контрольно-измерительных приборов, исправности обслуживаемого оборудования.

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

4. Контроль выхода и качества продукции, расхода реагентов, энергоресурсов и качества поступающего сырья:

- Осуществление вывода оборудования на нормальный технологический режим;
- Принятие решений по воздействию на технологический процесс со стороны оператора;
- Учет сырья и получаемых продуктов;
- Учет расхода сырья, реагентов, энергоресурсов, вспомогательных материалов;
- Контроль качества сырья и получаемых продуктов.

5. Контроль исправности и работоспособности систем управления технологическим процессом, приборов контроля и автоматики.

6. Остановка, пуск единичного оборудования, блока (отделения) установки и установки в целом, вывод ее на режим.

7. Контроль работ повышенной опасности, выполняемых персоналом организации и работниками подрядных организаций:

- Контроль проведения ремонта оборудования;
- Проведение наружного и внутреннего осмотра аппаратов;
- Контроль состояния сварных и фланцевых соединений, запорной и регулирующей арматуры и опор после проведения ремонтных работ;
- Осмотр отремонтированного объекта, агрегата, оборудования, закрепленного за рабочим местом.

Общие должностные обязанности работника организации:

- Соблюдение Правил внутреннего трудового распорядка и иных локальных нормативных актов организации, внутренних правил и норм охраны труда, техники безопасности, производственной санитарии и противопожарной защиты.
- Выполнение в рамках трудового договора распоряжений работников, которым он подчинен согласно настоящей инструкции.
- Ведение установленной технической документации.

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания бакалаврской работы были решены следующие задачи:

1. Изучена структура установки ЭЛОУ-АВТ и блока вакуумной перегонки, принцип работы и управления технологическим процессом.

2. Составлено описание технологической схемы блока вакуумной перегонки мазута.

3. Предложены варианты решения проблемы увеличения отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ.

4. Проведены расчеты материального и теплового балансов вакуумного блока, диаметра и высоты вакуумной колонны, гидравлического сопротивления насадок «ВАКУПАК», «Кедр», «РЕТОН», а также материального баланса вакуумного блока после замены насадки «ВАКУПАК».

5. Рассмотрены основные требования безопасности при эксплуатации установки, вредные и опасные производственные факторы, способы предупреждения и локализации аварийных ситуаций.

Замена насадки «ВАКУПАК» на перекрестноточную насадку «РЕТОН» позволит увеличить выход вакуумного газойля на 18,54 %. Применение данной насадки будет значительно повышать эффективность работы вакуумной колонны, так как помимо низкого гидравлического сопротивления данная насадка лишена большинства недостатков противоточных насадок «ВАКУПАК» и «Кедр».

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Куранова Д. С.</i>			<i>Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Охотникова Г. Г.</i>				У	61	64
<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>						

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Капустин, В. М., Гуреев, А. А. Технология переработки нефти. В 2-х частях. Часть первая. Первичная переработка нефти / Под ред. О. Ф. Глаголевой и В. М. Капустина. – М.: Химия, КолосС, 2007. – 400 с.

2 Капустин, В. М., Гуреев, А. А. Технология переработки нефти. В 2-х частях. Часть вторая. Физико-химические процессы / Под ред. О. Ф. Глаголевой и В. М. Капустина. – М.: Химия, КолосС, 2015. – 400 с.

3 Волосов, И. В. Анализ работы установки первичной переработки нефти / И. В. Волосов // Химические науки. – 2017. – № 6. – С. 217-218.

4 ГОСТ Р 51858-2002. Издания. Нефть. Общие технические условия (с изменениями № 1, 2). – введ. 2002–07–01.

5 Глаголева, О. Ф. Физико-химические аспекты технологии первичной переработки нефти (обзор) / О. Ф. Глаголева // Нефтехимия. – 2018. – № 1. – С. 3-10.

6 Алексеев, А. В. Совершенствование технологического процесса ректификации нефти / А. В. Алексеев // Нефтегазовое дело. – 2019. – № 5. – С. 270-273.

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

8 Морозов, В. А. Современная установка вакуумной перегонки мазута / В. А. Морозов [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2016. – № 10. – С. 51-58.

9 Ратовский, Ю. Ю. Опыт реализации технологии глубоковакуумной перегонки мазута / Ю. Ю. Ратовский, Ю. Н. Лебедев // Химия и технология топлив и масел. – 2006. – № 6. – С. 10-12.

					<i>ВКР.171049.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Куранова Д. С.</i>			<i>Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ</i>	<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Охотникова Г. Г.</i>				У	62	64
<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>						

10 Ханджанлы, Н. Е. Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ / Н. Е. Ханджанлы, В. А. Устинов, М. Ю. Сариллов // Химия и технология топлив и масел. – 2019. – № 4. – С. 29-31.

11 Александров, И. А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке / И. А. Александров. – М.: Химия, 1981. – 352 с.

12 Торховский, В. Н. Использование гидродинамической кавитации для увеличения глубины отбора вакуумных дистиллятов при переработке битуминозных углеводородов / В. Н. Торховский [и др.] // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: Сборник научных трудов. Выпуск 23 – М.: РАЕН, 2016. – 224 с.

13 Максимов, С. В. Модернизация вакуумной колонны установки АВТ-6 / С. В. Максимов, А. И. Калошин, О. Л. Карпиловский // Химия и технология топлив и масел. – 2000. – № 4. – С. 28-35.

14 Клыков, М. В. Регулярная насадка с треугольными и трапецеидальными гофрами. Исследования и опыт эксплуатации / М. В. Клыков, Т. М. Тимергазина // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2003: матер. науч.-практ. конф. Уфа: ИНХП РБ, 2003. – 382 с.

15 Воробьев, С. И. Механодеструкция углеводородов нефти с помощью дезинтегратора высокого давления / С. И. Воробьев [и др.] // Химия и технология органических веществ. – 2008. – № 3. – С. 78-85.

16 Клыков, М. В. Модернизация вакуумного блока установки ЭЛОУ АВТ-4 / М. В. Клыков // Химическая техника. – 2011. – № 4. – С. 28.

17 Клыков, М. В. Увеличение отбора вакуумного газойля на установке АВТ / М. В. Клыков, Т. В. Алушкина, Я. В. Глазков // Нефтегазовый комплекс: проблемы и инновации: тез. III науч.-практ. конф. с междунар. участием. Самара: СГТУ. – 2018. – С. 94.

18 Насрутдинова, М. Р. Атмосферно-вакуумная перегонка нефти / М. Р. Насрутдинова // Мирская наука. – 2020. – № 1. – С. 381-383.

19 Меликов, Э. А. Управление вакуумным блоком в первичной переработке нефти / Э. А. Меликов // Булатовские чтения. – 2019. – № 2. – С. 89-92.

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

20 Сарданашвили, А. Г. Примеры и расчеты по технологии переработки нефти и газа / А. Г. Сарданашвили, А. И. Львова. – Новополюцк: Лань, 2016. – 256 с.

21 Иванаыков, С. В. Гидродинамика насадочных аппаратов: метод. указ. / С. В. Иванаыков, С. Б. Коныгин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 44 с.

22 ГОСТ 21944-76. Издания. Аппараты колонные стальные. Ряд диаметров. Расстояния между тарелками. – введ. 1977–01–01. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам; М.: Изд-во стандартов, 1977. – 3 с.

23 Богатых, К. Ф. Опыт и перспективы применения перекрестноточных насадочных колонн в нефтепереработке и нефтехимии. В кн.: Нефтедобыча, нефтепереработка, нефтехимия и катализ / К. Ф. Богатых // Материалы I съезда химиков, нефтехимиков, нефтепереработчиков и работников промышленности стройматериалов Республики Башкортостан. – Уфа, 1992. – С. 20-33.

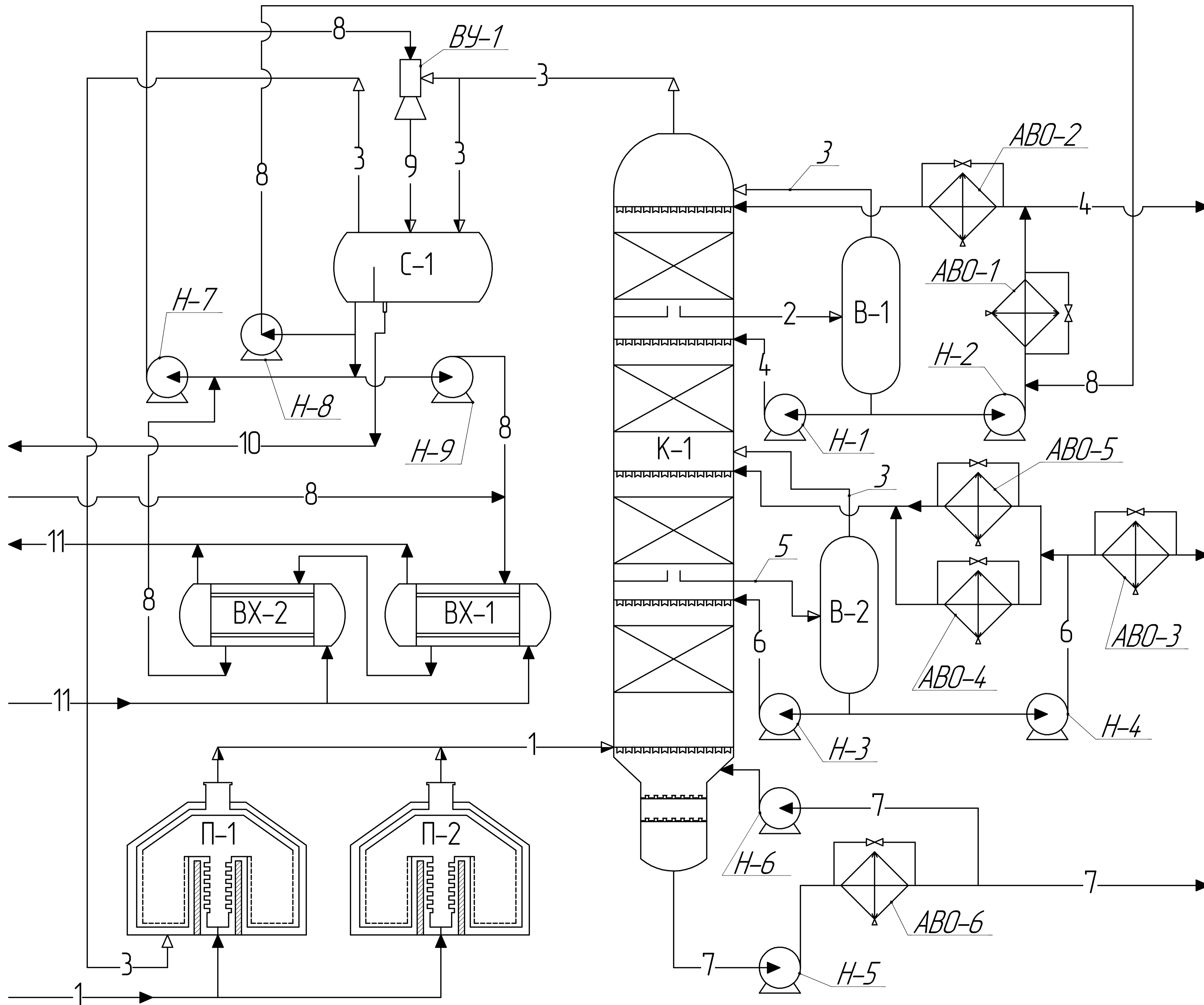
24 Лебедев, Ю. Н. Структурированная насадка ВАКУПАК / Ю. Н. Лебедев, Т. М. Зайцева, В. Г. Чекменёв // Химия и технология топлив и масел. – 2002. – № 1. – С. 29-31.

25 Каган, А. М. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов: моногр. / А. Г. Лаптев, А. С. Пушнов, М. И. Фарахов. – Казань: Отечество, 2013. – 454 с.

26 СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – введ. 2009–03–25. – Москва: Министерство РФ по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям; М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 28 с.

27 ПБЭ НП-2001. Правила безопасной эксплуатации и охраны труда для нефтеперерабатывающих производств. – введ. 2001–04–01. – Москва: Министерство энергетики Российской Федерации; М.: ЦНИИТЭнефттехим, 2001. – 52 с.

					ВКР.171049.180301.ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



Обозначение		Наименование среды
Букв.	Графическое	
-1-1-		Мазут
-2-2-		Смесь ВДФ и газов разложения
-3-3-		Газы разложения
-4-4-		ВДФ
-5-5-		Смесь ВГ и газов разложения
-6-6-		Вакуумный газойль (ВГ)
-7-7-		Гудрон
-8-8-		Рабочая жидкость
-9-9-		Смесь газов разложения и рабочей жидкости
-10-10-		Водяной конденсат
-11-11-		Обратная вода

Обозначение	Наименование	Кол.
П	Печь для мазута	2
К-1	Вакуумная колонна	1
В	Вакуумприемник	2
АВО	Аппарат воздушного охлаждения	6
ВУ-1	Вакуумсоздающее устройство	1
С-1	Лоточно-железистый сепаратор	1
ВХ	Водяной холодильник	2
Н	Центробежный насос	9

ВКР.17104.9.180301.ТС

Увеличение отбора вакуумного газойля на установке ЭЛОУ-АВТ

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.	Октябрьева Г.Г.				У	-	
Проб.	Октябрьева Г.Г.				Лист	1	Листов
Т.контр.							1
Исполн.	Радина Т.А.				АМГУ ИФФ		
Удт.	Гужель В.А.				гр. 718-ад		

Технологическая схема блока вакуумной перегонки мазута
Копиробал

Формат А1

Пред. проектант. № _____
 Спроект. № _____
 Подп. и дата. _____
 Взам. инст. № _____
 Инст. № подл. _____