

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

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

_____ Ю.А. Гужель

« _____ » _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Модернизация установки адсорбционной осушки газа

Исполнитель
студент группы 618-об



(подпись, дата)

О.О. Герман

Руководитель
доцент, канд.техн.наук



(подпись, дата)

Г.Г. Охотникова

Консультант по безопасности
жизнедеятельности
доцент, канд.техн.наук



(подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль
проф., док.хим.наук



(подпись, дата)

Т.А. Родина

Благовещенск 2020

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

Факультет Инженерно-физический
Кафедра Химии и химической технологии

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

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Герман Оксаны Олеговны

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Модернизация установки адсорбционной осушки газа» утверждена Приказом от 30.04.2020 г № 810-уч
 2. Срок сдачи студентом законченной работы 04.07.2020 г.
 3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Производительность установки – 6 млрд.м³/год; производительность отделения – 136 млн.м³/год. Параметры очищаемого газа: давление – 5,35 МПа, температура – 40 °С, точка росы газа после очистки и осушки – минус 70 °С. Литературные данные.
 4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по методам осушки газа. Характеристика сырья и готовой продукции установки осушки. Описание технологической схемы процесса осушки после модернизации. Технологический расчет стадий адсорбции и регенерации; расчет адсорбера
 5. Перечень материалов приложения: Технологическая схема установки осушки газа.
 6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А. В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность производства»
 7. Дата выдачи задания 13.05.2020 г
- Руководитель выпускной квалификационной работы: Охотникова Галина Генриховна, доцент, канд. техн. наук, доцент
- Задание принял к исполнению 13.05.2020 г.



РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 57 с., 4 таблицы, 3 рисунка, 16 источников

ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ВЛАГА, АДСОРБЦИОННАЯ ОСУШКА ГАЗА, АДСОРБЕР, АДСОРБЕНТ, ЦЕОЛИТ, СИЛИКАГЕЛЬ, АКТИВНОСТЬ АДСОРБЕНТА, УСТАНОВКА

На основе изучения научно-технической информации и регламента установки, по тематике работы была изучена схема адсорбционной осушки газа. Рассмотрена характеристика сырья и готовой продукции установки, выполнена модернизация установки и расчет основного оборудования и технологических параметров заданного процесса.

					ВКР.161862.180301.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.		Герман О.О			Модернизация установки адсорбционной осушки газа			У	3	57
Проез.		Охотникова Г.Г.						АмГУ, ИФФ, 618-об		
Н. контр.		Родина Т.А.								
Утв.		Гужель Ю.А.								

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	5
Введение	6
1 Литературный обзор	8
1.1 Характеристика процессов осушки газа	8
1.2 Типы адсорбентов	12
2 Технологическая часть	20
2.1 Описание технологической модернизации	20
2.2 Характеристика исходного сырья и готовой продукции установки	24
2.3 Описание технологической схемы	25
2.4 Исходные данные для расчета процесса адсорбции	27
2.5 Расчет процесса адсорбции	28
2.6 Исходные данные для расчета стадии регенерации	36
2.7 Расчет стадии регенерации	37
2.8 Механический расчет	41
3 Безопасность и экологичность производства	47
3.1 Основные требования безопасности при эксплуатации установки адсорбционной осушки газа	47
3.2 Индивидуальные и коллективные средства защиты при эксплуатации установки адсорбционной осушки газа	50
3.3 Мероприятия по защите окружающей среды при подго- товке установки к проведению реконструкции объекта	53
Заключение	55
Библиографический список	56

					ВКР.161862.180301.ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Герман О.О.			Модернизация установки адсорбционной осушки газа			У	4	57	
Пров.		Охотникова Г.Г.									
Н. контр.		Родина Т.А.									
Утв.		Гужель Ю.А.						АмГУ, ИФФ, 618-об			

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей бакалаврской работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

АМФ – азотно-метановая фракция

ГПЗ – газоперерабатывающий завод

ДЭГ – диэтиленгликоль

МФ – метановая фракция

ОГЗ – Оренбургский газоперерабатывающий завод

СИЗ – средства индивидуальной защиты

СИЗОД – средства индивидуальной защиты органов дыхания

ТТР – температура точки росы

ТЭГ – триэтиленгликоль

ШФЛУ – широкая фракция легких углеводородов

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Герман О.О</i>			<i>Модернизация установки адсорбционной осушки газа</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Прое.</i>		<i>Охотникова Г.Г.</i>				У	5	57
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>				<i>АмГУ, ИФФ, 618-об</i>		
<i>Утв.</i>		<i>Гужель Ю.А.</i>						

ВВЕДЕНИЕ

Добываемый на месторождениях природный газ не является чистым продуктом, он содержит множество примесей, которые могут плохо отразиться на работе установок для перекачки газа и трубопроводов.

Примеси бывают разными. Речь может идти, например, о механических частицах, содержащихся в добываемом природном газе. Попадая в различные механизмы (газоперекачивающие агрегаты на транспортной магистрали, компрессоры и т.п.), они радикально повышают их износ. Это ведет к резкому росту издержек, падению экономической эффективности производства.

Однако механические частицы – далеко не единственная примесь, которая способна повредить технологическим процессам. Не меньшую опасность представляет обычная вода. Особенно остро данная проблема стоит при добыче природного газа. Конкретная концентрация водяных паров в этом случае сильно зависит от природных и геологических условий на месторождении. Однако в том или ином объеме они присутствуют всегда.

Самая очевидная опасность воды – коррозия. Ведь и трубы, из которых состоят газовые магистрали, и многие агрегаты изготовлены из сплавов на основе железа. В газопроводах наличие воды может приводить к образованию гидратов (не случайно впервые газовые гидраты в естественных условиях были обнаружены именно в условиях вечной мерзлоты. Кроме того, в магистрали может появиться обычный лед. И то и другое способно повлечь образование в трубах пробок, препятствуя движению газового потока «голубого топлива». К тому же в условиях, когда образуются гидраты, нарушается нормальная работа регулирующих клапанов, ответственных за поддержание должного давления.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Герман О.О.			<i>Модернизация установки адсорбционной осушки газа</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		Охотникова Г.Г.				У	6	57
<i>Н. контр.</i>		Родина Т.А.				<i>АмГУ, ИФФ, 618-об</i>		
<i>Утв.</i>		Гужель Ю.А.						

Таким образом, осушка газа, по существу, является одним из важнейших направлений его очистки – способом удаления вредных примесей, в качестве одной из которых при многих технологических процессах является вода.

Осушка представляет собой основной этап подготовки газа, который применяется практически на всех установках подготовки газа.

Осушка газа – это процесс удаления из него влаги, т.е. снижение абсолютной и относительной влажности.

Главным критерием качества осушки газа является температура «точки росы», в зимний период принято значение «точки росы» – минус 20 °С, в летний период минус – 14 °С. Выбор способа осушки газа является важнейшим при проектировании разработки месторождения.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация действующей установки адсорбционной осушки газа с целью улучшения качества продукции, снижения воздействия на окружающую среду, увеличения мощности действующей установки, снижения энергетических затрат;

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Систематизировать, закрепить и расширить теоретические знания и практические умения, полученные при обучении в университете;
2. Изучить и проанализировать современное состояние проблемы осушки газа на основании литературных источников.
3. Изучить схему технологической установки адсорбционной осушки газа Оренбургского газоперерабатывающего завода, основных аппаратов, их назначение, устройство, рабочие параметры и особенности эксплуатации.
4. Выявить проблемные зоны и модернизировать действующую установку на основе имеющегося отечественного и зарубежного опыта.
5. Выполнить расчет и выбрать основные аппараты и оборудование; рассчитать технологические параметра для заданного процесса и определить оптимальный режим работы процесса.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		7

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Характеристика процессов осушки газа

На данный момент существует несколько методов осушки газа:

- 1) адсорбция (осушка твердыми поглотителями)
- 2) абсорбция (осушка жидкими поглотителями)
- 3) мембранные процессы
- 4) осушка охлаждением

Абсорбционная осушка газа

Сущность абсорбционной осушки газа основана на селективном поглощении (растворении) паров воды жидкими поглотителями (абсорбентами), в качестве которых используют диэтиленгликоли и триэтиленгликоли. В России чаще применяется диэтиленгликоль (ДЭГ). Использование триэтиленгликоля (ТЭГ) носит единичный характер, хотя за рубежом ТЭГ нашел широкое применение, благодаря низким потерям его на установках осушки газа и другим технологическим преимуществам. В качестве абсорбента изначально использовали этиленгликоль и глицерин, в дальнейшем перешли к использованию диэтиленгликоля и триэтиленгликоля так как эти соединения менее летучие. В настоящее время именно они широко используются для абсорбционной осушки.

Основными требованиями к осушителям являются высокая поглотительная способность в широком интервале концентраций, давления и температур; низкое давление насыщенных паров; высокая селективность в отношении компонентов газа, т.е. низкая взаиморастворимость с ними; нейтральность в отношении компонентов газов и ингибиторов, применяемых в процессе добычи газа; низкая коррозионная активность.

Кроме того, осушители должны иметь низкую вспениваемость в услови-

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Герман О.О			<i>Модернизация установки адсорбционной осушки газа</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		Охотникова Г.Г.				У	8	57
<i>Н. контр.</i>		Родина Т.А.				<i>АмГУ, ИФФ, 618-об</i>		
<i>Утв.</i>		Гужель Ю.А.						

ях эксплуатации, обеспечивающую хороший контакт с газом в абсорбере, теплообменниках и другом массообменном оборудовании [1].

Мембранные процессы

Мембранный метод разделения основывается на различной проницаемости того или иного компонента газообразной или не жидкой среды. Поток, который проходит через мембрану, называется фильтратом или пермеатом, а задержанный – концентратом или ретентатом.

Отличительными особенностями мембран являются полуволоконная конфигурация, разная последовательность скоростей проникновения компонентов газа, высокая химическая устойчивость практически ко всем компонентам углеводородных смесей и высокая селективность. При подготовке попутного нефтяного и природного газа все нежелательные примеси концентрируются в потоке низкого давления, а подготовленный газ выходит практически без потери давления.

По сравнению с используемыми технологиями мембранный метод единственный позволяет одновременно в рамках одного технологического аппарата добиться снижения ТТР (температуры точки росы) как по воде, так и по углеводородам. Применение мембранных установок осушки газа позволяет минимизировать эксплуатационные и капитальные затраты на осушку, однако сама по себе мембрана является очень дорогостоящей [2].

Осушка охлаждением

При охлаждении газа при постоянном давлении избыточная влага конденсируется, а «точка его росы» соответственно снижается. На этом основана осушка газа охлаждением, причем нижний предел охлаждения газа ограничивается условиями образования гидратов. Самостоятельного применения для осушки газа этот метод не нашел и используется обычно в комбинации с другими методами, например, для предварительного удаления основного количества влаги [3].

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						9
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Адсорбционная осушка

Адсорбция является одним из эффективных методов разделения газообразных и жидких смесей компонентов, различающихся структурой молекул. По сравнению с другими массообменными процессами наиболее эффективно ее использование в случае малого содержания извлекаемых компонентов в исходной смеси.

В нефтегазоперерабатывающей промышленности адсорбция применяется для отбензинивания природных и попутных углеводородных газов, при разделении газов нефтепереработки с целью получения водорода и этилена, для осушки газов и жидкостей, очистки природного газа от сернистых соединений, выделения низкомолекулярных ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксилолов) из бензиновых фракций, для очистки масел [4,5].

Различают два вида адсорбции – физическую и химическую.

Химическая адсорбция основана на химическом взаимодействии извлекаемого компонента с твердым поглотителем. В качестве адсорбентов в процессах химической адсорбции используют в основном оксиды железа, цинка, меди. Основной недостаток процессов химической адсорбции – сложность регенерации твердых поглотителей и их утилизация после отработки.

В связи с этим в промышленности используются преимущественно методы физической адсорбции. В качестве адсорбентов используют активированные угли, силикагели, а в последние годы – главным образом синтетические цеолиты. При физической адсорбции молекулы поглощенного вещества, находящиеся на поверхности адсорбента, не вступают с ним в химическое взаимодействие. Связь молекул поглощенного вещества (адсорбата) с адсорбентом при физической адсорбции менее прочна, чем при хемосорбции [6].

Адсорбционная осушка по своей сути ориентирована на глубокую степень осушки (точка росы минус 70 °С и ниже), она предпочтительна при высоких давлениях газа, около 10 МПа.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						10
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Полный цикл работы одного аппарата включает четыре стадии:

1) адсорбцию при температуре 35 °С – 50 °С, давлении 8 МПа – 12 МПа, длительность контакта газа с адсорбентом не менее 10 секунд (скорость газа в аппарате 0,15 м/с – 0,30 м/с).

Длительность адсорбции выбирают, исходя из адсорбционной емкости поглотителя, начальной и конечной влажности газа, загрузки адсорбента в аппарате;

2) нагрев адсорбента производится после переключения аппарата с режима адсорбции на десорбцию. Нагрев ведется горячим газом из трубчатого нагревателя со скоростью не более 60 °С в час. Время, затрачиваемое на нагрев, составляет 0,60 – 0,65 секунд от периода адсорбции;

3) десорбцию – вытеснение из пор адсорбента поглощенной воды и восстановление его адсорбционной активности. Процесс начинается, когда температура адсорбента достигает 160 °С – 180 °С (для силикагелей) или 280 °С – 290 °С (для цеолитов). Горячий газ в периоды нагрева и десорбции проходит слой адсорбента в направлении, противоположном направлению осушаемого газа в периоде адсорбции (т.е. снизу-вверх);

4) охлаждение адсорбента – начинают после завершения десорбции и переключения аппарата на режим адсорбции (осушки). Охлаждение ведут исходным холодным газом. Период охлаждения занимает 35 % – 40 % от времени, затрачиваемого на адсорбцию [7].

Основные преимущества адсорбционного метода осушки газа:

1. Продолжительный срок службы адсорбента;
2. В широком диапазоне технологических параметров достигается низкая точка росы и высокая ее депрессия;
3. Изменение температуры и давления не оказывает существенного влияния на качество осушки;
4. Процесс отличается простотой и надежностью.

Недостатки:

1. Большие капитальные вложения и высокие эксплуатационные затраты;

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		11

2. Загрязнение адсорбента и частая его замена или очистка;
3. Отсутствие надежности непрерывного цикла технологического процесса [6].

1.2 Типы адсорбентов

Адсорбенты-осушители, применяемые в промышленных установках, должны обладать следующим комплексом свойств:

1. достаточной поглотительной способностью;
2. низким остаточным содержанием влаги в газе;
3. полнотой и простотой регенерации;
4. механической прочностью;
5. прочностью от истираемости;
6. стабильностью упомянутых выше показателей при большом количестве рабочих циклов [8].

По химическому составу все адсорбенты можно разделить на углеродные и неуглеродные. К углеродным адсорбентам относятся активные (активированные) угли, углеродные волокнистые материалы, а также некоторые виды твердого топлива. Неуглеродные адсорбенты включают в себя силикагели, активный оксид алюминия, алюмогели, цеолиты и глинистые породы.

Активные угли – пористые углеродные адсорбенты. Их получают из различных видов органического сырья: твердого топлива различной степени метаморфизма – торфа, бурого и каменного угля, антрацита, древесного материала (дерева, древесного угля, опилок, отходов бумажного производства). Они позволяют вести процесс при низких температурах и высоких давлениях, что необходимо для тонкой очистки гелиевого концентрата от азота, водорода и инертных газов.

По размеру и форме частиц активные угли подразделяют на гранулированные и порошкообразные. Гранулированные угли изготавливают обычно в форме цилиндров диаметром 2 мм – 5 мм, они обычно применяются на установках со стационарным слоем адсорбента при очистке и разделении технологических потоков в газовой фазе.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						12
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Порошкообразные угли состоят из частиц величиной менее 0,15 мм. Их используют исключительно для очистки веществ в жидкой фазе.

Отрицательной способностью активного угля, как адсорбента является его горючесть при окислении кислородом воздуха. В воздушной атмосфере окисление углей начинается при температурах выше 250 °С. Однако известны случаи пожаров на углеадсорбционных установках при более низких температурах. Этот факт объясняется образованием пирофорных соединений железа типа FeS и Fe₂S₃ в результате сероводородной коррозии аппаратуры. Возгорание таких соединений происходит при относительно низких температурах, и в слое они являются очагами воспламенения всей массы угля. Чтобы уменьшить пожароопасность, к углю при его изготовлении иногда добавляют до 5% силикагеля [8].

Активный оксид алюминия и алюмогель – белое или кремовое гранулированное вещество с микропористой структурой и гладкой поверхностью. Благодаря невероятной твердости и механической прочности активная окись алюминия устойчива к истиранию, коррозии и воздействию высоких температур. Рост потребности в активной окиси алюминия обусловлен развитием таких процессов нефтепереработки, как риформинг, гидроочистка, гидрокрекинг (в которых используются катализаторы, содержащие 80% – 99% окиси алюминия), а также широким применением ее в процессах адсорбции.

Достоинства оксида алюминия термодинамическая стабильность, относительная легкость получения, а также доступность сырья; именно они позволяют широко применять этот адсорбент наряду с силикагелями и цеолитами. Также оксид алюминия, как адсорбент, является очень стойким по отношению к капельной влаге, поэтому его можно использовать в качестве защитного слоя перед слоем силикагеля. Недостаток – снижение адсорбционной способности при увеличении числа регенерации [8].

Силикагели – продукты обезвоживания геля кремниевой кислоты, промытые от примесей, высушенные и прокаленные при определенных температурах.

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

В зависимости от использованного для производства сырья промышленные силикагели содержат некоторое количество оксидов алюминия, железа, кальция и других металлов. Технический силикагель содержит около 99,5% SiO₂.

По внешнему виду силикагель представляет собой твердые зерна: прозрачные или матовые, бесцветные или светло-коричневые. Выпускается силикагель в виде шариков, таблеток или кусочков неправильной формы, с зёрнами размером в пределах:

0,1 – 0,25 мм – для процессов с кипящим слоем адсорбента;

0,50 – 2,0 мм – для жидкофазных процессов и процессов с движущимся слоем адсорбента;

2,0 – 7,0 мм – для процессов в газовой фазе со стационарным слоем адсорбента [9].

Основные преимущества силикагелей:

1. Низкая температура, требуемая для регенерации (100 °С – 200 °С) и, как следствие, более низкие энергозатраты, чем при регенерации других промышленных минеральных сорбентов (оксид алюминия, цеолиты);

2. Возможность синтеза силикагелей в широком интервале заданных структурных характеристик при использовании достаточно простых технологических примеров;

3. Низкая себестоимость при крупнотоннажном промышленном производстве;

4. Высокая механическая прочность по отношению к истиранию и раздавливанию.

Необходимо отметить и недостатки: на динамическую активность силикагеля сильно влияет скорость потока газа; при повышении скорости газа динамическая активность сорбента падает.

В эксплуатационных условиях, когда возможно превышение номинальной производительности по газу, это свойство силикагеля отрицательно сказывается на глубине осушки.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		14

Кроме того, при осушке силикагелем происходит постоянное увеличение содержания влаги в осушенном газе в течение цикла адсорбции, вследствие чего не удастся получить стабильную глубину осушки потока газа [9].

В эксплуатационных условиях, когда возможно превышение номинальной производительности по газу, это свойство силикагеля отрицательно сказывается на глубине осушки. Кроме того, при осушке силикагелем происходит постоянное увеличение содержания влаги в осушенном газе в течение цикла адсорбции, вследствие чего не удастся получить стабильную глубину осушки потока газа [10].

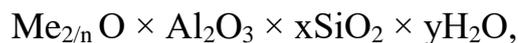
Цеолиты (молекулярные сита) – это алюмосиликаты, содержащие в своем составе оксиды щелочных и щелочноземельных металлов и отличающиеся строго регулярной структурой пор. Этот сравнительно новый тип адсорбентов разделяется на природные и синтетические цеолиты.

Уникальные свойства природных цеолитов – высокая селективность поглощения и способность молекулярно-ситового разделения смесей. Однако широкое внедрение природных цеолитов в промышленное производство только начинает осуществляться. У большинства природных цеолитов размеры пор настолько невелики, что практически исключают адсорбцию молекул даже малого размера.

Очень важным показателем, влияющим на адсорбционную способность большинства адсорбентов, является относительное насыщение осушаемого газа. Чем выше влажность газа, тем выше поглотительная способность адсорбентов. Но цеолит составляет исключение и имеет практически постоянную адсорбционную способность при любой относительной влажности газа. Благодаря этому цеолиты проявляют высокую активность при низких парциальных давлениях паров воды. Следовательно, эти адсорбенты могут применяться для осушки газов с низким содержанием воды. Кроме того, молекулярные сита сохраняют высокую активность в широком интервале температур [10].

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		15

Цеолиты представляют собой алюмосиликаты с трехмерной кристаллической структурой общей формулы:



где n – валентность катиона металла Me ;

x – мольное соотношение оксидов кремния и алюминия, называемое силикатным модулем;

y – число молей воды.

Структура цеолитов характеризуется наличием большого числа полостей, соединенных между собой окнами, или микроканалами, размеры которых сравнимы с размерами адсорбирующихся молекул. Благодаря правильной структуре цеолиты имеют уникальную способность разделять молекулы по их размерам, т. е. обладают молекулярно-ситовым эффектом, поэтому их называют также молекулярными ситами. Цеолиты также характеризуются наличием в их адсорбционных полостях катионов, компенсирующих электростатические взаимодействия алюмосиликатных скелетов. Роль катионов наиболее сильно проявляется при адсорбции полярных веществ [11].

Обычно тип структуры синтетического цеолита обозначается буквами латинского алфавита А, X, Y, L и т. д. Перед буквами ставят химическую формулу катиона металла, компенсирующего отрицательный заряд алюминия в алюмосиликате.

Буквенные обозначения характеризуют мольное соотношение оксидов кремния и алюминия в цеолите, т. е. силикатный модуль. Например, цеолит NaA означает цеолит типа А (силикатный модуль от 1,8 до 2,0) в натриевой форме, т. е. отрицательный заряд алюминия в алюмосиликате компенсируется положительным зарядом натрия. Для осушки и очистки газов от сернистых соединений наибольшее распространение получили синтетические цеолиты, полученные на основе щелочных или щелочно-земельных алюмосиликатов со структурами NaX и NaA.

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Силикатные модули для указанных структур приведены в таблице 1.

Таблица 1 Силикатные модули разных структур

Силикатный модуль x	Тип цеолита	Силикатный модуль x	Тип цеолита
1,8 – 2,0	цеолит А	6,0 – 7,0	эрионит
2,3 – 3,0	цеолит X	6,3 – 10,7	модернит
3,0 – 6,0	цеолит Y	10 – 35	цеолит L

Синтетические минеральные адсорбенты находят широкое применение в том числе и за счет возможности регулирования их пористой структуры в зависимости от условий получения. Получение адсорбента с однородными порами осуществляют путем катионного обмена.

Различный диаметр пор получают за счет катионов натрия, калия, лития, кальция или регулируя содержание силиката в кристаллической решетке.

Первоначально в кристаллах цеолитов содержится большое количество воды, которая удаляется из кристаллов при нагревании их до 300 °С. В обезвоженном состоянии кристаллическая решетка цеолитов обладает высокой адсорбционной способностью по отношению к парам воды и газам. Средство цеолитов к воде больше, чем к другим компонентам газа, так как решетка цеолита стремится восстановить максимальное содержание воды. Это объясняется сильной полярностью воды и щелочей в цеолитовой решетке. Вследствие этого сильнее всего адсорбируются те компоненты газовой смеси, которые обладают наибольшим дипольным моментом. Полярность при адсорбции является, таким образом, решающим фактором: чем выше полярность компонентов газовой смеси, тем активнее они проникают в цеолитовую решетку. Так, например, молекула воды по причине своей высокой полярности всегда вытесняет молекулы меркаптанов и сероводорода [10].

Для увеличения срока службы цеолитов газ перед подачей в адсорбер целесообразно подвергать предварительной осушке и очистке, либо использовать в адсорбере защитный слой, состоящий из более дешевых адсорбентов.

Активность цеолита зависит от температуры, давления и линейной скорости газа.

1. Температура: повышение температуры снижает степень очистки газа. Так, при повышении температуры с 20 °С – 25 °С до 60 °С – 70 °С активность цеолитов снижается на 20 % – 40 %.

2. Давление: с увеличением общего давления очистки газа активность цеолитов возрастает.

3. Линейная скорость газа: при увеличении линейной скорости газа в зоне адсорбции примерно в 6 раз (от 0,05 м/с до 0,3 м/с) активность цеолитов снижается на 35 % – 40 %.

При адсорбционной осушке наличие в газе углеводородов от C₄₊ затрудняют процесс, потому что эти углеводороды поглощаются в стадии адсорбции на выходной части слоя адсорбента и при десорбции воды при высокой температуре склонны к образованию коксовых отложений в порах адсорбента. Постепенное закоксовывание адсорбента ведет к снижению его адсорбционной емкости, поэтому требуется периодически регенерировать адсорбент, т.е. выжигать из его пор кокс.

Анализ работы промышленных установок очистки и осушки газа на цеолитах показывает, что основной причиной дезактивации цеолитов является закоксовывание, которое приводит к снижению емкости цеолитов, уменьшению нагрузки по перерабатываемому газу и, как следствие, к снижению технико-экономических показателей процесса. Отложения кокса происходят как на внутренней поверхности цеолита, так и на наружной. При этом отложения на внутренней поверхности приводят к изменению общего сорбционного объема цеолита, а отложения на наружной поверхности – к закупорке устьев пор и диффузионным затруднениям.

Закоксовывание цеолитов обусловлено влиянием факторов:

1. Воздействие высокой температуры на стадии десорбции (до 350 °С).
2. Высокое содержание углеводородов C₄₊ и меркаптанов в газе регенерации и охлаждения, их разложение при высоких температурах в процессе ре-

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

генерации цеолита на его каталитически активных центрах.

3. Наличие в очищаемом газе продуктов, склонных в условиях регенерации адсорбента к деструкции с последующей конденсацией и полимеризацией (высококипящие и ароматические углеводороды, меркаптаны, гликоли, амины).

4. Относительно высокое рабочее давление (4,0 МПа – 4,5 МПа).

Для снижения степени закоксовывания цеолитов принимают следующие меры:

1) улучшение подготовки сырья (увеличение числа ступеней сепарации для более полного отделения тяжелых углеводородов и реагентов с предыдущих ступеней очистки газа);

2) ведение процесса при оптимальном режиме;

3) подбор и применение высокоселективных адсорбентов;

4) понижение каталитической активности адсорбента путем введения ингибиторов;

5) удаление коксовых отложений с поверхности адсорбента в процессе окислительной регенерации в потоке кислородсодержащего инертного газа (азот в смеси с воздухом).

Для увеличения срока службы цеолитов газ перед подачей в адсорбер целесообразно подвергать дополнительной очистке, либо использовать в адсорбере защитный слой, состоящий из более дешевых адсорбентов – активной окиси алюминия, силикагеля или отработанного цеолита [11].

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		19

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Описание технологической модернизации

Анализ схемы адсорбционной осушки газа на Оренбургском ГПЗ и блока деэтанализации, позволяет сделать следующие выводы: если объединить потоки газа деэтанализации и этана на установке осушки газа, это позволит модернизировать и использовать освободившиеся аппараты блока деэтанализации для очистки смеси азотно-метановой и метановой фракций от паров компрессорного масла.

Установка адсорбционной осушки газа включает в себя: три адсорбера, для обеспечения непрерывной работы, и печь, через которую проходит часть товарного газа, который используется в качестве газа регенерации на установке. Схема установки представлена на рисунке 1.

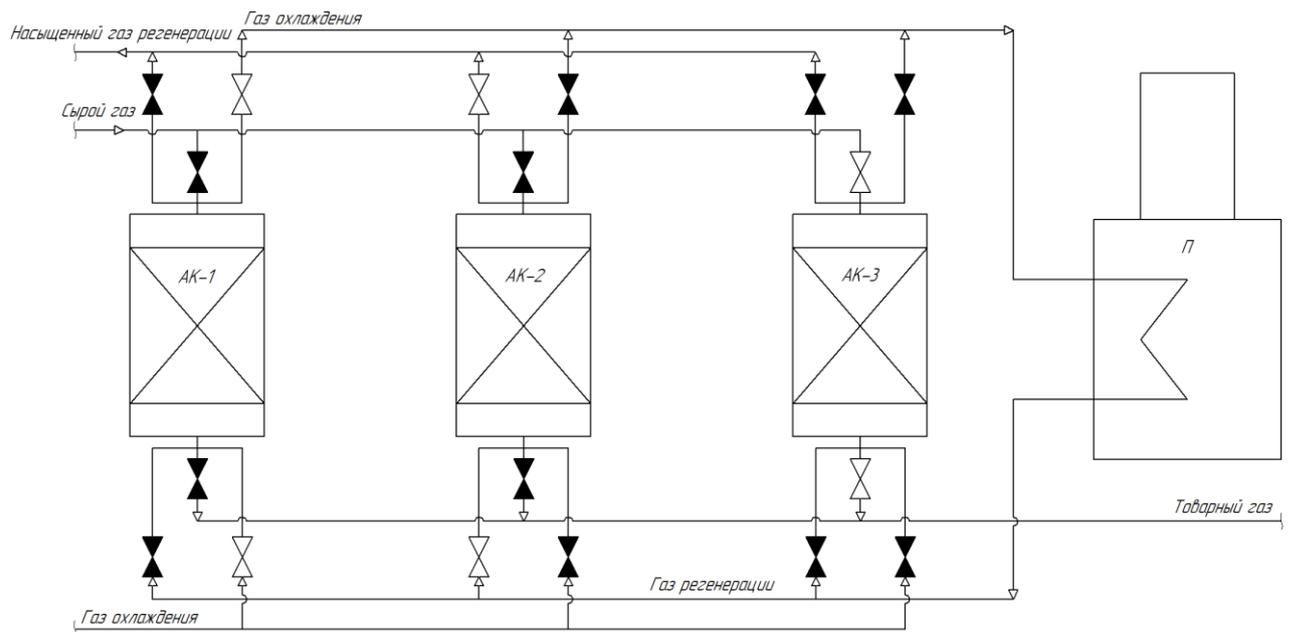


Рисунок 1 Схема установки адсорбционной осушки газа

АК 1-3 – адсорбционная колонна; П – печь.

					ВКР.161862.180301.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Герман О.О			Лит.	Лист	Листов
Пров.		Охотникова Г.Г.			У	20	57
Н. контр.		Родина Т.А.			АмГУ, ИФФ, 618-об		
Утв.		Гужель Ю.А.					
					Модернизация установки адсорбционной осушки газа		

Установка деэтанализации представляет собой блок из 6 аппаратов, представленных на рисунке 2.

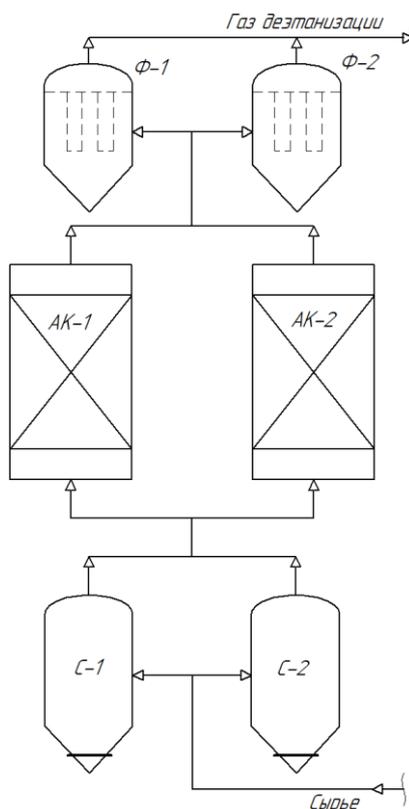


Рисунок 2 Схема установки деэтанализации

АК 1-2 – адсорбционные колонны; С 1-2 – сепараторы; Ф 1-2 – фильтры.

Объединив два существующих блока производства, мы получаем модернизированную установку адсорбционной осушки газа. Вновь создаваемый блок очистки смеси азотно-метановой и метановой фракций от паров компрессорного масла будет оснащен: двумя входными жалюзийными сепараторами и двумя адсорберами, загружаемыми отработанным цеолитом.

Сепараторы включаются в схему очистки после переврезки входных трубопроводов с линии деэтанализации в линию смеси азотно-метановой и метановой фракций, при этом схема подачи газа после сепараторов на очистку в адсорберы будет изменена. Газ при очистке будет проходить адсорбер не сверху вниз, а снизу вверх.

Изменение схемы подачи газа на очистку в адсорберы добавит к основной функции адсорберов еще и функцию дополнительных сепараторов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ВКР.161862.180301.ПЗ

Лист

21

Предполагается очистку газа проводить без регенерации цеолита в течение двухлетнего межремонтного периода адсорберов, регенерацию цеолита проводить перед его утилизацией в целях обеспечения экологической безопасности.

Для обеспечения работы сепараторов и адсорберов с новым сырьем и измененной схемой подачи газа потребуются внесение следующего изменения в конструкцию данных аппаратов: конструкцию сепараторов и адсорберов необходимо дополнить дренажными устройствами с отсекающей арматурой для периодического слива отсепарированного масла из сепараторов и слива уловленного и адсорбированного масла из адсорберов после регенерации цеолита перед его утилизацией.

В качестве дополнительной защиты предусматривается после адсорберов пропускать очищенную смесь азотно-метановой и метановой фракций перед подачей на регенерацию и охлаждение адсорберов через освободившиеся фильтры-пылеуловители блока деэтанзации.

Смесь азотно-метановой и метановой фракций в соотношении 1:3 подается в блок очистки с компрессоров гелиевого завода через пневмокран. После снижения давления поток газа поступает в два параллельно работающих сепаратора, где происходит отделение масла, находящегося в мелкодисперсном состоянии.

Сепараторы представляют собой вертикальные цилиндрические аппараты с отбойным устройством жалюзийного типа в верхней части аппаратов и паровым змеевиком в нижней части.

Масло, отделенное от потока газа, собирается в нижней части сепараторов и по мере накопления сбрасывается вручную в накопители через клапаны-регуляторы уровня. Уровень в сепараторах замеряется датчиком с сигнализацией максимального уровня на щите в операторной в случае повышения уровня выше 800 мм.

Отсепарированный поток газа подается на очистку в два параллельно работающих адсорбера загруженных отработанным цеолитом NaX.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						22
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Адсорберы представляют собой вертикальные цилиндрические аппараты, диаметром 3200 мм, с одним слоем цеолита. Для защиты от превышения давления каждый адсорбер оборудован двумя предохранительными клапанами.

В адсорбере газ, проходя через слой цеолита снизу-вверх, очищается от паров масла. Процесс очистки производится непрерывно до планового срока замены адсорбента или «проскока» масла. Отбор газа на анализ на содержание масла осуществляется перед сепараторами, на выходе из адсорберов и пылеуловителей. На выходе из адсорберов очищенный газ собирается в общий поток, затем подается в фильтры-пылеуловители для очистки от пыли адсорбента.

Фильтр-пылеуловитель представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат с установленным в верхней части быстросъемным затвором для ускорения замены и ремонта фильтрующих патронов. Процесс очистки газа от пыли происходит на поверхности фильтрующих патронов, которые выполнены в виде вертикальных полых перфорированных цилиндров, обтянутых тканью. Ткань служит фильтрующим элементом. В нижней части аппарата установлен конусный бункер с люком для сбора и выгрузки пыли.

После фильтров-пылеуловителей очищенный от масла газ через пневмокран выводится с установки и подается на отделения установки в качестве газов охлаждения и регенерации.

Технический результат, получаемый за счет смешения метановой и азотно-метановой фракций, состоит в снижении содержания меркаптанов, бутантана и более тяжелых углеводородов в газе регенерации и охлаждения, и, следовательно, снижении коксообразования в процессе регенерации цеолита, а также в обеспечении возможности максимального сохранения адсорбционной емкости цеолита в процессе его охлаждения.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						23
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

2.2 Характеристика сырья и готовой продукции

Сырьем для переработки служит природный газ (Оренбургского и Карагаганакского газоконденсатных месторождений) который по технологическим трубопроводам поступает на I и II очереди ОГЗ.

В таблице 2 представлен состав природного газа, который направляется на очистку от сернистых соединения в адсорберы, состав осушенного и очищенного от сернистых соединений природного газа, т. е. товарного газа (на выходе из адсорберов), который в настоящее время применяется в качестве газов регенерации и охлаждения цеолита, и состав смеси азотно-метановой и метановой фракций после дожимной компрессорной станции и блока очистки от паров компрессорного масла, который предлагается использовать в качестве газа регенерации и охлаждения цеолита [12].

В таблице 2: МФ – метановая фракция, АМФ – азотно-метановая фракция.

Таблица 2 Состав сырого газа и газа регенерации.

Компонентный состав	Сырой газ	Газ регенерации (охлаждения)			
		Товарный газ	МФ	АМФ	смесь МФ и АМФ
Меркаптаны, мг/м ³	411,01	17,63	7,2	0,1	5,42
H ₂ S, мг/м ³	10,6	3,24	2,4	0,01	1,9
CO ₂ , мг/м ³	320	300	140	отсутствие	105
Точка росы, °С	от 0 до минус 5	не выше минус 70	не выше минус 85	не выше минус 102	не выше минус 85
N ₂ , %	5,98	5,98	5,97	19,44	9,33
C ₁ , %	85,70	85,70	89,69	80,13	87,3
C ₂ , %	5,16	5,16	3,4	0,38	2,64
C ₃ , %	2,00	2,00	0,73	0,04	0,55
C ₄ , %	0,82	0,82	0,18	0,008	0,15
C ₅ , %	0,29	0,29	0,03	< 0,003	0,023
C ₆ , %	0,005	0,005	отсутствие	отсутствие	отсутствие
Масло компрессорное	-	-	отсутствие	отсутствие	отсутствие
Теплотворная способность, ккал/м ³	-	-	8000	6460	7600
Расход газа, тыс. м ³ /ч	-	-	90	30	120

Как видно из таблицы 2, состав смеси азотно-метановой и метановой фракций сильно отличается от товарного газа количественным содержанием сероводорода, углекислого газа, меркаптанов, воды и углеводородов C_2 и выше.

2.3 Описание технологической схемы

Схема установки очистки и подачи смеси азотно-метановой и метановой фракции на установку адсорбционной осушки представлена на рисунке 3.

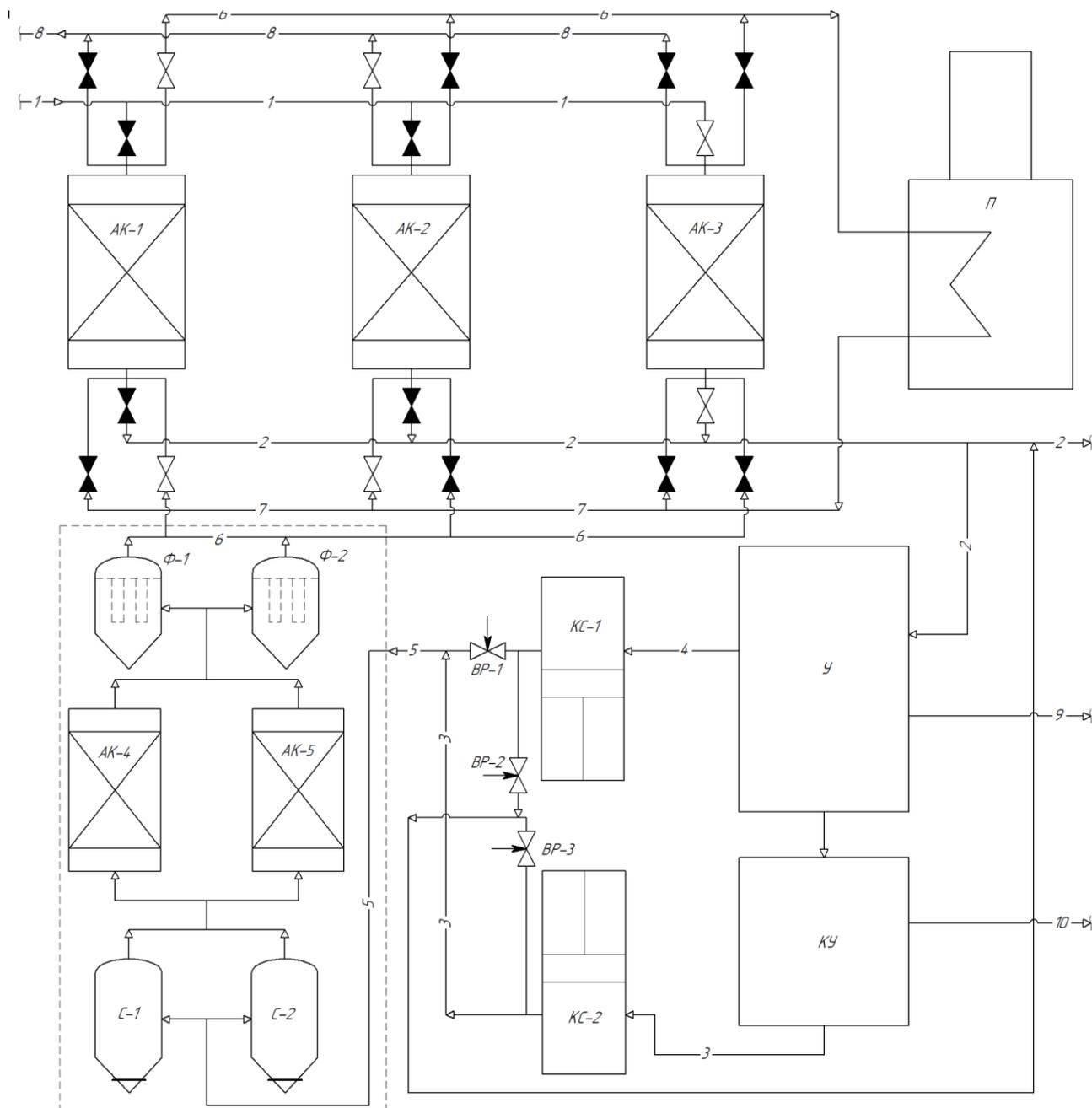


Рисунок 3 – Схема компаундирования, очистки и подачи на регенерацию смеси азотно-метановой и метановой фракции

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Товарный газ, прошедший осушку и очистку от сернистых соединений, в адсорберах АК 1-3 отделяют и направляют по линии 2 на установку низкотемпературной конденсации и ректификации У, там газ конденсируют за счет дросселирования и холодильных циклов и последовательно выделяют фракции углеводородов C_2 и выше с остаточными количествами сероводорода и меркаптанов. Фракцию углеводородов C_2 и широкую фракцию углеводородов (C_3 и выше) на дальнейшую переработку по линии 9.

Метановую фракцию отделяют и направляют на дожимную компрессорную станцию КС-1 где повышают давление до 5 МПа, и далее через регулирующий вентиль ВР-1 с давлением до 4,3 МПа направляют в линию смешения азотно-метановой и метановой фракции 5.

Азотно-метановую фракцию, которая является побочным продуктом производства гелиевого концентрата направляют с установки получения гелиевого концентрата через компрессорную станцию КС-2, где повышают давление до 4,3 МПа, в линию 5. В линии 5 происходит смешение с метановой фракцией, которая подается с установки низкотемпературной конденсации и ректификации. Соотношение азотно-метановой и метановой фракций в смеси, которая используется в качестве газа охлаждения, можно откорректировать изменением расходов с помощью регулирующих вентилях ВР 2,3.

Избыток метановой или азотно-метановой фракций направляют в линию 2 товарного газа. Полученную смесь фракций направляют на блок очистки от паров компрессорного масла, которые уносят газы из дожимной компрессорной станции КС 1-2 и компрессорной установки КУ. Смесь метановой и азотно-метановой фракций пройдя блок очистки направляют по линии 6 в адсорбер АК-1 в качестве газа охлаждения, который уже прошел стадию регенерации цеолита. Смесь охлаждает цеолит, нагревается ее направляют по линии 6 в печь П для нагревания до температуры газа регенерации до $300\text{ }^{\circ}\text{C} - 350\text{ }^{\circ}\text{C}$.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						26
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Затем смесь уже в качестве газа регенерации цеолита, подается в адсорбер АК-2 по линии 7. В этот момент аппарат АК-3 работает в режиме адсорбции. В результате нагревания слоя цеолита адсорбированные компоненты: сероводород, меркаптаны и вода выделяются и отводятся с аппарата в газе регенерации. Содержание меркаптанов в газе регенерации очень мало, поэтому закоксувание цеолита минимальное. Насыщенный газ регенерации отводят по линии 8 и реализуют в качестве топливного газа. Цеолит в аппарате АК-2 охлаждают путем продувки через его слой новой порции газа охлаждения. При этом поглотительная способность цеолита, восстанавливается в процессе регенерации практически полностью, потому что в газе охлаждения количество тяжелых углеводородов, паров воды и сернистых соединений сведено до возможного минимума.

2.4 Исходные данные для технологического расчета процесса адсорбции

Производительность установки – 6 млрд. м³/год (750000 м³/час).

Производительность отделения – 136 млн. м³/год (375000 м³/час на один адсорбер).

Давление очищаемого газа – 5,35 МПа.

Температура очищаемого газа – 40 °С.

Плотность газа при нормальных условиях – 0,762 кг/м³.

Начальное содержание влаги – равновесное.

Точка росы газа после очистки и осушки – минус 70 °С.

Таблица 3 – Состав исходного газа [12]

Наименование компонента	Содержание, % об.
Азот - Гелий – N ₂ + He	5,74
Метан – CH ₄	87,61
Этан – C ₂ H ₆	4,23
Пропан – C ₃ H ₈	1,59
Бутан – C ₄ H ₁₀	0,66
Пентан – C ₅ H ₁₂ +высшие	0,15
Диоксид углерода – CO ₂	0,02
Итого:	100

Таблица 4 – Характеристики применяемого цеолита марки NaX [12]

Наименование показателя	Единица измерения	Фактические значения
Размер гранул	мм	2,9
Насыпная плотность	г/см ³	0,6
Механическая прочность на раздавливание	кг/мм ²	1,0
Массовая доля водостойкости	%	98
Динамическая емкость по парам воды	мг/см ³	108
Динамическая емкость по парам бензола	мг/см ³	69
Динамическая емкость по меркаптанам	мг/см ³	13
Динамическая емкость по сероводороду	мг/см ³	10
Динамическая емкость по углекислому газу	мг/см ³	5
Массовая доля потерь при прокаливании	%	4

2.5 Расчет процесса адсорбции

1. Определяем плотность газа при рабочих условиях, кг/м³ [13]:

Плотность газа, входящего на установку, при нормальных условиях $\rho_r = 0,762$ кг/м³ принимаем по лабораторным данным центральной заводской лаборатории предприятия [12].

$$\rho_{p,y} = \rho_r \cdot \frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T}, \quad (1)$$

где P – давление очищаемого газа, МПа;

P_0 – нормальное атмосферное давление ($P_0 = 0,1$ МПа);

T – температура газа поступающего на очистку, К;

T_0 – температура при нормальных условиях ($T = 273$ К);

$$\rho_{p,y} = 0,762 \cdot \frac{5,35 \cdot 273}{0,1 \cdot 313} = 35,56 \text{ кг/м}^3,$$

2. Определяем максимально допустимую линейную скорость газа в адсорбере по уравнению Леду:

$$U_{\Gamma} = \sqrt{78 \cdot C \cdot \rho_{\text{ад}} \cdot d_{\text{ад}} \cdot \frac{g}{\rho_{\text{р.у}}}}, \quad (2)$$

где U_{Γ} – линейная скорость газа, м/с;

C – константа ($C = 0,025 - 0,033$);

$\rho_{\text{р.у}}$ – плотность газа при рабочих условиях, кг/м³;

$\rho_{\text{ад}}$ – средняя плотность адсорбента, кг/м³

$d_{\text{ад}}$ – средний диаметр гранул адсорбента, мм

g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$U_{\Gamma} = \sqrt{78 \cdot 0,03 \cdot 600 \cdot 0,0029 \cdot \frac{9,81}{35,56}} = 1,12 \text{ м/с} = 67,2 \text{ м/мин.}$$

Примем рабочую линейную скорость $U_{\Gamma} = 68 \text{ м/мин}$.

3. Рассчитываем массу воды, извлекаемую из газа на протяжении цикла адсорбции, полагая, что вся влага, поступающая в адсорбер с сырым газом, поглощается адсорбентом:

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = G_{\Gamma} \cdot W_{\Gamma} \cdot \tau_{\text{ад}}, \quad (3)$$

где $G_{\text{H}_2\text{O}}$ – масса воды, кг;

G_{Γ} – объем поступающего в адсорбер газа, м³/ч;

W_{Γ} – влагосодержание сырого газа, кг/м³ (находим по графику равновесного влагосодержания при температуре и давлении процесса адсорбции, $W_{\Gamma} = 1,857 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$);

$\tau_{\text{ад}}$ – время адсорбции, ч.

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = 375000 \cdot 1,857 \cdot 10^{-3} \cdot 16 = 11142 \text{ кг.}$$

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

4. По исходным данным рассчитываем внутренний диаметр адсорбера, м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_P}{\pi \cdot U_1}}, \quad (4)$$

где V_P – объем газа, поступающего в адсорбер при рабочих условиях, м³/мин.;

$$\pi = 3,14.$$

$$V_P = V_G \cdot \frac{P_0 \cdot T}{T_0 \cdot P} \cdot \frac{1}{60}, \quad (5)$$

где V_G – объем газа, поступающего в адсорбер (м³/ч), измеренный при нормальных условиях;

T – температура адсорбции;

T_0 – температура при нормальных условиях ($T = 273$ К);

P – давление в адсорбере, МПа;

P_0 – нормальное атмосферное давление ($P_0 = 0,1$ МПа);

$$V_P = 375000 \cdot \frac{0,1 \cdot 313}{273 \cdot 5,35} \cdot \frac{1}{60} = 133,9 \text{ м}^3/\text{мин},$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 133,9}{3,14 \cdot 67,2}} = 1,5 \text{ м}.$$

Принимаем диаметр адсорбера равный 1,6 м [14].

Расчет аппарата с диаметром 1,6 м:

5. Рассчитываем линейную скорость газа в свободном сечении адсорбера при рабочих условиях:

$$U_1 = \frac{4 \cdot V_P}{\pi \cdot D^2}, \quad (6)$$

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$U_1 = \frac{4 \cdot 133,9}{3,14 \cdot 1,6^2} = 66,6 \text{ м/мин} ,$$

Так как $U_1 < U_r$ ($U_r = 68 \text{ м/мин}$), оставляем прежний диаметр аппарата.

6. Определяем удельную нагрузку слоя по воде, кг/(ч·м²):

$$g_B = \frac{G_{H_2O}}{0,785 \cdot \tau_{ад} \cdot D^2} , \quad (7)$$

где G_{H_2O} – масса воды, кг;

$\tau_{ад}$ – продолжительность стадии адсорбции, ч;

D – внутренний диаметр адсорбера, м;

$$g_B = \frac{8400}{0,785 \cdot 16 \cdot 1,6^2} = 261,2 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)} = 4,35 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{мин)}.$$

7. Рассчитываем высоту адсорбционной зоны, м:

$$h = 31,3 \cdot \frac{g_B^{0,7895}}{U_1^{0,5506} \cdot p/p_s^{0,2647}} , \quad (8)$$

где g_B – удельная нагрузка слоя по воде, кг/(м²·мин);

p/p_s – относительная влажность осушаемого газа, % ($p/p_s = 80\%$);

$$h = 31,3 \cdot \frac{4,35^{0,7895}}{66,6^{0,5506} \cdot 80^{0,2647}} = 3,1 \text{ м}.$$

8. Принимаем высоту слоя адсорбента, м:

$$H = 5 \cdot D , \quad (9)$$

$$H = 5 \cdot 1,6 = 8 \text{ м}.$$

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

9. Рассчитываем динамическую равновесную влагоемкость слоя, %:

$$A_d = \frac{A_p \cdot (H - 0,45 \cdot h)}{H}, \quad (10)$$

где A_p – равновесная влагоемкость слоя, определяется по графику [13],
 $A_p = 14\%$

$$A_d = \frac{14 \cdot (8 - 0,45 \cdot 3,1)}{8} = 11,56 \text{ \%}.$$

10. Определяем минимально необходимую высоту слоя адсорбента, м:

$$h_{\text{сл.}} = \frac{127,4 \cdot G_{H_2O}}{\rho_{\text{ад}} \cdot D^2 \cdot A_d}, \quad (11)$$

где $\rho_{\text{ад}}$ – средняя плотность адсорбента, кг/м³;

D – внутренний диаметр адсорбера, м.

$$h_{\text{сл.}} = \frac{127,4 \cdot 8400}{600 \cdot 1,6^2 \cdot 11,56} = 60,3 \text{ м}.$$

Так как $h_{\text{сл}}$ больше H , необходимо увеличить значение диаметра адсорбера и повторить расчет с 5 - го пункта.

$$U_1 = \frac{4 \cdot 133,9}{3,14 \cdot 3,2^2} = 16,66 \text{ м/мин},$$

$$g_{\text{в}} = \frac{8400}{0,785 \cdot 1,6 \cdot 3,2^2} = 65,31 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)} = 1,09 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{мин)},$$

$$h = 31,3 \cdot \frac{1,09^{0,7895}}{16,66^{0,5506} \cdot 80^{0,2647}} = 2,23 \text{ м},$$

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$H = 5 \cdot 3,2 = 16 \text{ м.}$$

$$A_d = \frac{14 \cdot (16 - 0,45 \cdot 2,23)}{16} = 13,12 \text{ \%}.$$

$$h_{\text{сл.}} = \frac{127,4 \cdot 8400}{600 \cdot 3,2^2 \cdot 13,12} = 13,27 \text{ м.}$$

11. Принимаем диаметр адсорбера 3,2 м [14].

По конструктивным соображениям соотношение $H:D$ должно быть $3 \div 6$.
Наше соотношение $16 : 3,2 = 5$, поэтому расчет можно прекратить.

12. Рассчитываем продолжительность работы слоя до проскока влаги, ч:

$$\tau_1 = \frac{0,01 \cdot A_d \cdot \rho_{\text{ад.}} \cdot h_{\text{сл.}}}{g_{\text{в}}}, \quad (12)$$

где $g_{\text{в}}$ – удельная нагрузка слоя по воде, $\text{кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$;

$$\tau_1 = \frac{0,01 \cdot 13,12 \cdot 600 \cdot 13,27}{65,31} = 15,99 \text{ ч} = 16 \text{ ч.}$$

Продолжительность работы слоя до проскока равна продолжительности цикла адсорбции.

13. Определим гидравлическое сопротивление слоя адсорбента на стадии очистки:

$$\Delta P = \frac{2 \cdot f \cdot \rho_{\text{г}} \cdot H \cdot U_1^2}{d_3 \cdot g \cdot \varepsilon^2}, \quad (13)$$

где f – коэффициент трения газа о слой адсорбента, определяется как функция от числа Рейнольдса [11];

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

H – высота слоя адсорбента, м;

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						33
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

U_1 – линейная скорость газа в свободном сечении адсорбера, м/с²;

$d_э$ – эквивалентный диаметр частиц, м;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

ε – порозность, м³/м³, адсорбента при допущении упорядоченного расположения частиц адсорбента.

Порозность слоя определяют по формуле:

$$\varepsilon = \frac{V_{ш}}{V_{к}}, \quad (14)$$

где $V_{ш}$ – объем шара, эквивалентный объему частицы адсорбента цилиндрической формы, м³;

где $V_{к}$ – объем куба, описанного вокруг шара, м³;

$$V_{ш} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot L}{4}, \quad (15)$$

где $\pi = 3,14$;

d – диаметр частиц (по практическим данным – 0,0029 м);

L – длина частиц адсорбента цилиндрической формы (по практическим данным – 0,004 м), м;

$$V_{ш} = \frac{3,14 \cdot 0,0029^2 \cdot 0,004}{4} = 2,64 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Эквивалентный диаметр частиц:

$$d_э = \left(\frac{6 \cdot V_{ш}}{\pi} \right)^{1/3}, \quad (16)$$

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$d_3 = \left(\frac{6 \cdot 2,64 \cdot 10^{-8}}{3,14} \right)^{1/3} = 3,69 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$V_k = (3,69 \cdot 10^{-3})^3 = 5,02 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 ;$$

$$\varepsilon = \frac{2,64 \cdot 10^{-8}}{5,02 \cdot 10^{-8}} = 0,526 .$$

Определяем критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{U_1 \cdot d_3 \cdot \rho_{\Gamma}}{\varepsilon \cdot \mu} , \quad (17)$$

где U_1 – линейная скорость газа в свободном сечении адсорбера, м/мин;

μ – динамическая вязкость газа, определяемая по формуле Фроста,

Па·с;

$$\mu = T \cdot (6,6 - 2,25 \cdot \lg M) \cdot 10^{-8} . \quad (18)$$

где T – температура адсорбции, К;

M – средняя молекулярная масса газа;

$$\rho_{\Gamma(\text{н.у})} = \frac{M}{22,4} , \quad (19)$$

$$M = 22,4 \cdot 0,762 = 17,07 ,$$

$$\mu = 313 \cdot (6,6 - 2,25 \cdot \lg 17,07) \cdot 10^{-8} = 1,19 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с} .$$

$$Re = \frac{16,66 \cdot 3,69 \cdot 10^{-3} \cdot 35,56}{0,526 \cdot 1,19 \cdot 10^{-5}} = 349245 .$$

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Определили, что $f = 2$ [13]

$$\Delta P = \frac{2 \cdot 2 \cdot 35,56 \cdot 16 \cdot 0,278^2}{3,69 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 0,526} = 9237,4 .$$

Величина, равная сумме перепада давления в слое и произведения высоты слоя адсорбента на его насыпную плотность, не должна превышать предела прочности гранул на раздавливание.

$$\Delta P + H \cdot \rho_{ад} , \quad (20)$$

$$\Delta P = 9237,4 + 16 \cdot 600 = 18837,4 \text{ кг/м}^2 = 0,0188374 \text{ кг/мм}^2$$

Предел прочности гранул на раздавливание – $1,0 \text{ кг/мм}^2$, следовательно за время работы адсорбера цеолит не потеряет свои механические свойства.

Продолжительность работы слоя цеолита до проскока влаги по расчётам составляет 15,99 часов. Для того чтобы исключить проскок влаги и соединений серы в товарный газ принимаем время адсорбции 16 часов.

2.6 Исходные данные для расчета стадии регенерации

В адсорбер загружается цеолит NaX. Однако в процессе перегрузки и хранения решетка цеолита может частично восстановить содержание воды. Расчет регенерации цеолита после его загрузки проведем с учетом удаления максимально возможного содержания влаги [14].

Исходные данные [12]:

Регенерация проводится смесью азотно-метановой и метановой фракцией.

Давление смеси – 43 кг/см^2 ; расход – $8000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Повышение температуры газа на входе в адсорбер для снижения температурных нагрузок на сварной шов производится со скоростью не более $100 \text{ }^\circ\text{C}$ в час.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						36
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Максимальная температура газа регенерации на входе в адсорбер 320 °С;
Регенерацию ведем до достижения температуры газа регенерации на выходе из адсорбера не менее – 280 °С.

Температура кипения воды при давлении 43 кг/см² – 260 °С, удельная теплоемкость воды – 4,187 кДж/(кг·°С).

Удельная теплоемкость цеолита – 0,837 кДж/(кг·°С).

Теплота десорбции воды – 3256 кДж/кг.

Плотность газа регенерации – 0,759 кг/м³.

Удельная теплоемкость газа регенерации при давлении и температуре процесса регенерации – 2,61 кДж/(кг·°С).

Начальная температура адсорбента – 40 °С.

Масса адсорбера – 102 тонны.

Масса слоя цеолита – 72 тонны.

2.7 Расчет стадии регенерации

Рассчитываем общее количество тепла, необходимое на регенерацию цеолита, Q_p , кДж [14]:

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_{\text{п}}, \quad (21)$$

где Q_1 – количество тепла, необходимое на нагрев адсорбера;

Q_2 – количество тепла, необходимое на нагрев цеолита;

Q_3 – количество тепла, необходимое на нагревание адсорбированных компонентов;

Q_4 – количество тепла, необходимое на десорбцию компонентов;

$Q_{\text{п}}$ – потери тепла.

1. Затраты тепла на нагревание адсорбера равны, кДж:

$$Q_1 = m_a \cdot C_m \cdot (t_H - t), \quad (22)$$

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

где m_a – масса адсорбера, кг;

C_m – удельная теплоемкость металла (для стали – 0,5 кДж/кг·°С);

t_H – начальная температура регенерации, °С;

t – температура адсорбера перед началом регенерации, °С.

$$Q_1 = 102000 \cdot 0,5 \cdot (320 - 40) = 14280000 \text{ кДж},$$

2. Тепло затраченное на нагревание цеолита, кДж:

$$Q_2 = m_{ц} \cdot C_{ц} \cdot (t_H - t), \quad (23)$$

где $m_{ц}$ – масса цеолита, кг;

$C_{ц}$ – удельная теплоемкость цеолита, кДж/(кг·°С);

$$Q_2 = 72000 \cdot 0,837 \cdot (320 - 40) = 16873920 \text{ кДж},$$

3. Затраты тепла на нагревание адсорбированного компонента, кДж:

$$Q_3 = \sum(m_i \cdot C_i \cdot (t_K - t_H)), \quad (24)$$

где m_i – масса i -го компонента (воды), содержащегося в порах цеолита, кг;

C_i – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С);

t_K – температура кипения воды, при давлении регенерации, °С;

t_H – начальная температура регенерации, °С;

Массу воды, которая может быть поглощена цеолитом, определяем по формуле:

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$m_B = \frac{G_0 \cdot A_B}{\rho_{ад}} \quad (25)$$

где G_0 – весовая загрузка адсорбента в аппарат, кг;

A_B – динамическая емкость адсорбента по влаге, кг/м³;

$A_B = 108$ кг/м³;

$\rho_{ад}$ – средняя плотность адсорбента, кг/м³;

$$m_B = \frac{72000 \cdot 108}{600} = 12960 \text{ кг},$$

$$Q_3 = 12960 \cdot 4,187 \cdot (260 - 40) = 11937974 \text{ кДж},$$

4. Определим затраты тепла на десорбцию воды, кДж:

$$Q_4 = \sum(m_i \cdot H_i), \quad (26)$$

где H_i – теплота десорбции воды, $H_i = 3256$ кДж/кг;

$$Q_4 = 12960 \cdot 3256 = 42197760 \text{ кДж},$$

5. Потери тепла обычно составляют 10% от общей суммы затрат тепла:

$$Q_{п} = 0,1 \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4), \quad (27)$$

$$Q_{п} = 0,1 \cdot (14280000 + 16873920 + 11937974 + 42197760) = 8528966 \text{ кДж}$$

Находим теплоту регенерации:

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$Q_p = 0,9 \cdot (14280000 + 16873920 + 11937974 + 42197760) = 76760689 \text{ кДж.}$$

6. Количество теплоты, которая поступает с газом регенерации в адсорбер, всегда равно расходу теплоты на регенерацию:

$$Q_r = Q_p, \quad (28)$$

$$Q_r = V_r \cdot \rho_r \cdot C_r \cdot t_{cp}, \quad (29)$$

где Q_r – количество тепла, поступающего с газом регенерации, кДж;

V_r – объем газа регенерации, м³;

ρ_r – плотность газа, кг/м³;

C_r – удельная теплоемкость газа, кДж/(кг·°С);

$$t_{cp} = t_{нг} - \frac{t_{k_1} + t_{k_2}}{2}, \quad (30)$$

где $t_{нг}$ – начальная температура регенерации;

t_{k_1}, t_{k_2} – температура газа, покидающего слой цеолита в начале и в конце нагревания, °С; соответственно $t_{k_1} = 40$ °С;

$$t_{k_2} = 2 \cdot t_{min} - t_{нг} + 10, \quad (31)$$

$$t_{k_2} = 2 \cdot 280 - 320 + 10 = 250^\circ\text{C};$$

$$t_{cp} = 320 - \frac{40 + 250}{2} = 175^\circ\text{C},$$

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Объем газа регенерации:

$$V_{\Gamma} = \frac{Q_{\text{ср}}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{\Gamma} \cdot \rho_{\text{ср}}}, \quad (32)$$

7. Определим расход газа регенерации, м³:

$$V_{\Gamma} = \frac{76760689}{0,759 \cdot 2,61 \cdot 175} = 221421 \text{ м}^3,$$

8. Продолжительность регенерации 8 часов. Определим расход газа регенерации:

$$G_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{8}, \quad (33)$$

$$G_{\Gamma} = \frac{221421}{8} = 27677 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2.8 Механический расчет

Адсорбер – это сосуд, работающий под давлением, и находится в ведении Ростехнадзора.

Материалом для изготовления адсорберов является стальная труба К52, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 31447-2012 [15].

Расчетное давление для элементов сосуда или аппарата принимаем, незначительно выше рабочего, принимаем: $p_{\text{расч}} = 6 \text{ МПа}$

Расчетную температуру определяют на основании теплотехнических расчетов или результатов испытаний $t_{\text{расч}} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$

1. Расчет толщины стенок корпуса и днища [16]:

Тонкостенный аппарат – аппарат, толщина стенки (обечайки) которого не превышает 10 % внутреннего диаметра.

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Расчетная формула для полной толщины стенки с учетом прибавки на коррозию и дополнительной прибавки имеет вид:

$$s = \frac{p \cdot D_B}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p} + C, \quad (34)$$

где p – расчетное давление, МПа;

D_B – внутренний диаметр, мм;

$[\sigma]$ – нормальное допускаемое напряжение для материала обечайки,
 $[\sigma] = 355$ МПа;

φ – коэффициент прочности сварного шва, $\varphi = 1$.

$$s_{1p} = \frac{2 \cdot D_B}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p_{\text{расч}}} = \frac{2 \cdot 3200}{2 \cdot 355 \cdot 1 - 6} = 9,09 \text{ мм}$$

$$C = 4,4 \text{ мм}$$

С учетом условия $s \geq s_p + C$ принимаем по ГОСТ 31447-2012 толщину стенки $s = 15$ мм.

Верхнее и нижние днища адсорбера эллиптические, следовательно, формула для расчета толщины стенки днищ будет выглядеть следующим образом:

$$\delta = \frac{D_p}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi} + C_K + C_{\text{окр}}, \quad (35)$$

где C_K – прибавка толщины с учетом коррозии;

Прибавка толщины с учетом коррозии C_K определяется формулой:

$$C_K = \Pi \cdot \tau_a, \quad (36)$$

где Π – коррозионная проницаемость, принимаем $\Pi = 0,001$ мм/год;

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	Не докум.	Подп.	Дата		

τ_a – амортизированный срок службы аппарата, можно принять 10 лет;

Полученное суммарное значение толщины округляется до ближайшего нормализованного значения, добавлением $C_{окр}$.

Границей применения формулы является условие:

$$(\delta - C_k)/D_p \leq 0,1, \quad (37)$$

$$C_k = 10 \cdot 0,001 = 0,01 \text{ мм/год},$$

$$\delta = \frac{3,2}{2 \cdot 355 \cdot 1} + 0,01 + C_{окр} = 0,0145 \text{ м},$$

Требуемое условие выполняется:

$$(0,0145 - 0,01)/3,2 \leq 0,1,$$

$$0,0014 \leq 0,1,$$

Высоту эллиптического днища рассчитаем по формуле:

$$H_d = 0,25 \cdot D_B, \quad (38)$$

$$H_d = 0,25 \cdot 3200 = 800 \text{ мм}.$$

Принимаем толщину стенки днища по ГОСТ 6533-78 15 мм.

Согласно ГОСТ 6533-78 длина цилиндрической части равна: $h_1 = 0,6 \text{ м}$.

2. Гидравлические испытания аппарата:

Допускаемое напряжение: $\sigma_{доп} = 355 \text{ МПа}$;

Пробное давление при гидроиспытании (ГОСТ Р 52630-2006):

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						43
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

$$p_{\text{пр}} = 1,25 \cdot p_{\text{расч}} \cdot \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{доп}}}, \quad (39)$$

$$p_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 6 \cdot \frac{355}{355} = 7,5 \text{ МПа}.$$

При этом необходимо также учесть гидростатическое давление столба воды при гидроиспытании, если оно равно или превышает 5 % от пробного давления.

Гидростатическое давление столба воды при гидроиспытании аппарата в вертикальном положении найдем по формуле:

$$\text{Плотность воды при } 20 \text{ }^\circ\text{C: } \rho_{\text{воды}} = 996 \text{ кг/м}^3,$$

$$p_{\text{гидр}} = \rho_{\text{воды}} \cdot g \cdot H_{\text{пол}}, \quad (40)$$

$$p_{\text{гидр}} = 996 \cdot 9,81 \cdot 16 = 0,156 \text{ МПа},$$

$$\frac{p_{\text{гидр}}}{\rho_p} \cdot 100\% = \frac{0,156}{6} \cdot 100\% = 2,6 \%. \quad (41)$$

Гидростатическое давление можно не учитывать, т.к. $2,6 \% \leq 10 \%$.

Напряжение, возникающее в стенках обечайки в процессе гидроиспытания:

$$\sigma = \frac{\rho_p \cdot [D_p + (\delta - C)]}{2 \cdot \varphi \cdot (\delta - C)}, \quad (42)$$

$$\sigma = \frac{6 \cdot [3200 + (15 - 4,4)]}{2 \cdot 1 \cdot (15 - 4,4)} = 908 \text{ МПа}.$$

3. Определение максимальной массы аппарата:

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Массу обечайки найдем по формуле:

$$G_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - D_B^2) \cdot H \cdot \rho_M, \quad (43)$$

где D_H – наружный диаметр обечайки, м;

D_B – внутренний диаметр обечайки, м;

H – высота колонны, м;

ρ_M – плотность материала $\rho_M = 7800$ кг/м³.

$$G_1 = \frac{3,14}{4} \cdot (3,23^2 - 3,2^2) \cdot 16 \cdot 7800 = 18898 \text{ кг}.$$

Массу днища найдем по формуле:

$$G_2 = \frac{\pi}{6} \cdot (D_H^2 - D_B^2) \cdot \rho_M, \quad (44)$$

$$G_2 = \frac{3,14}{6} \cdot (3,23^2 - 3,2^2) \cdot 7800 = 787,4 \text{ кг},$$

Массу приваренных деталей принимаем 10% от массы корпуса:

$$G_3 = 0,1 \cdot 787,4 = 78,74 \text{ кг},$$

Высота опоры аппарата 2000 мм.

$$G_4 = \frac{3,14}{4} \cdot (3,23^2 - 3,2^2) \cdot 2 \cdot 7800 = 2362 \text{ кг}.$$

Определим объем, а затем массу воды в объеме аппарата во время гидроиспытаний.

Объем цилиндрической части аппарата рассчитываем по формуле:

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$$V_{\text{цил}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{в}}^2 \cdot H}{4}, \quad (45)$$

$$V_{\text{цил}} = \frac{3,14 \cdot 3,2^2 \cdot 16}{4} = 128,7 \text{ м}^3.$$

Объем эллиптического днища рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{дн}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{в}}^2 \cdot H_{\text{эл}}}{6}, \quad (46)$$

$$V_{\text{дн}} = \frac{3,14 \cdot 3,2^2 \cdot 0,6}{6} = 3,2 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{ад}} = 128,7 + 3,2 = 131,9 \text{ м}^3.$$

Таким образом, масса воды равна

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = 131,9 \cdot 1000 = 131900 \text{ кг}.$$

Суммарную массу аппарата определим по формуле:

$$G_{\text{адс}} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4, \quad (47)$$

$$G_{\text{адс}} = 18898 + 787,4 + 78,74 + 2362 = 22126,14 \text{ кг}.$$

Массу аппарата при гидравлических испытаниях рассчитаем по формуле:

$$G_{\text{гидр}} = G_{\text{адс}} + Q_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (47)$$

$$G_{\text{гидр}} = 22126,14 + 131900 = 154026,14 \text{ кг}.$$

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Основные требования безопасности при эксплуатации установки адсорбционной осушки газа

В соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ установка относится к категории опасных производственных объектов. На установке осушки газа используются, перерабатываются и транспортируются горючие и токсичные вещества, горючие жидкости, используемые в технологическом процессе, используется оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 МПа, используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы.

Особенностью технологического процесса установки с точки зрения взрывопожарной и газовой опасности является возможность газообразных углеводородов образовывать с воздухом взрывоопасные смеси и наличие в углеводородных газах сернистых соединений. В процессе эксплуатации оборудования возможно выделение газа через неплотности сальников и фланцевых соединений, что может привести к взрыву и/или пожару. Пожарная опасность установки увеличивается в результате нагрева газа до температуры 350 °С. При аварийных ситуациях за короткое время на территории установки может образоваться взрывоопасная концентрация газовой смеси.

Технологический процесс на установке характеризуется следующими опасными и вредными производственными факторами:

- физические;
- химические.

Физические опасные и вредные производственные факторы:

- 1) появление в воздухе рабочей зоны большого количества газа;

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Герман О.О.			<i>Модернизация установки адсорбционной осушки газа</i>	<i>Лист</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		Охотникова Г.Г.				У	47	57
<i>Н. контр.</i>		Родина Т.А.				<i>АМГУ, ИФФ, 618-об</i>		
<i>Утв.</i>		Гужель Ю.А.						

2) движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования;

3) повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;

4) повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;

5) повышенный уровень статического электричества;

6) повышенный уровень шума на рабочем месте;

7) недостаточная освещенность рабочей зоны;

8) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях инструментов и оборудования;

9) расположение рабочего места (площадки обслуживания технологического оборудования) на значительной высоте относительно поверхности земли (пола);

10) пыль при замене адсорбента.

Химические опасные и вредные производственные факторы:

– по характеру воздействия на организм человека: токсические (углеводороды, сероводород, меркаптановая сера) и раздражающие (масла);

– по пути проникновения в организм человека через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки.

С целью обеспечения минимального уровня опасности производства и оптимальных санитарно-гигиенических условий труда работающих предусмотрен следующий комплекс технических, технологических и организационных мероприятий:

1) принятая на установке технологическая схема, обеспечивает безопасную для жизни и здоровья работников эксплуатацию;

2) применена многоуровневая система блокировок и защит по давлению, температуре, уровням по всему оборудованию установки;

3) стали для трубопроводов и оборудования выбраны с учетом расчетных давления и температуры;

4) применена арматура повышенной герметичности;

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

- 5) применена механическая защита оборудования от превышения давления предохранительными клапанами;
- 6) горячие поверхности трубопроводов и оборудования теплоизолированы;
- 7) насосно-компрессорное оборудование для взрывопожароопасных сред оборудовано специальными герметичными уплотнениями;
- 8) на входе и выходе с установки установлена специальная отсекающая арматура;
- 9) на застывающих и замерзающих средах применен обогрев;
- 10) применены системы аварийного сброса давления и освобождения оборудования от взрывопожароопасных продуктов при возникновении аварийной ситуации на установке, для чего предусмотрены специальные емкости и дистанционно управляемая арматура, устанавливаемая на трубопроводах, подключенных к факельным коллекторам;
- 11) организованы автоматизированные рабочие места для контроля и управления технологическими процессами, исключая необходимость постоянного присутствия обслуживающего персонала в местах непосредственного размещения оборудования с опасными и вредными производственными факторами;
- 12) на рабочих местах метеорологические условия соответствуют норме (температура воздуха, относительная влажность, скорость движения воздуха) и чистоты воздуха, которые обеспечиваются системами отопления и вентиляции;
- 13) производственные помещения, в которых возможно выделение вредных или горючих газов и паров, оборудованы аварийной вытяжной вентиляцией и блокировками на останов оборудования, включаемые автоматически по сигналу от датчиков газоанализаторов;
- 14) обеспечено нормируемое освещение рабочих мест, наружных сооружений и территории в целом с использованием естественного и искусственного освещения (рабочее, аварийное и эвакуационное освещение);

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						49
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

15) производственные и вспомогательные помещения оснащены, по необходимости, подъемными сооружениями и устройствами;

16) помещения и наружные площадки, на которых размещены оборудование и трубопроводы со взрыво-пожароопасными средами, оснащены автоматизированными системами сигнализации загазованности;

17) для защиты от поражения электрическим током и от статического электричества в производственных условиях предусмотрены следующие защитные меры: заземление, зануление, защитное отключение, пониженное напряжение, молниезащита, а также устройства ограждений, блокировок и размещение токоведущих частей в недоступных для людей местах;

18) электроприводное оборудование, размещаемое во взрывоопасных помещениях и взрывоопасных зонах наружных установок, применяется во взрывозащищенном исполнении;

19) электроснабжение установки выполнено от двух независимых источников; противопожарные мероприятия предусматривают защиту оборудования системой паротушения, автоматического газового пожаротушения и противопожарным водоснабжением. Оборудование наружной установки защищено стационарными лафетными стволами, подключенной к сети противопожарного водопровода.

Методы и средства защиты работающего персонала от производственных опасностей сведены к минимуму возможности возникновения аварийных ситуаций. Предусмотрен комплекс мероприятий и технических решений, направленных на исключение разгерметизации оборудования и предотвращение аварийных выбросов опасных веществ в окружающее пространство.

3.2 Индивидуальные и коллективные средства защиты при эксплуатации установки адсорбционной осушки газа

Одним из мероприятий по защите работающих от опасных и вредных производственных факторов, возникающих при эксплуатации установки, является применение средств индивидуальной и коллективной защиты.

Спецодежда, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты выда-

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						50
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

ются на основании «Межотраслевых правил обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты», утвержденных Приказом Минздравсоцразвития России от 01.06.2009 № 290-н.

Согласно перечню должностей и профессий работников, занятых на работах с временными и (или) опасными условиями труда, а также на работах в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работники должны обеспечиваться бесплатными средствами индивидуальной защиты. Выдаваемые персоналу средства индивидуальной защиты (далее по тексту – СИЗ) должны соответствовать характеру и условиям работы, обеспечивать безопасность труда и иметь сертификат (декларацию) соответствия.

Во время работы персонал установки обязан пользоваться СИЗ, индивидуальными средствами защиты органов дыхания (далее по тексту – СИЗОД) и бережно относиться при их использовании, своевременно информировать начальника установки о необходимости в химчистке, стирке, замене.

Ответственность за правильное использование СИЗ, СИЗОД несут лица, непосредственно выполняющие работу, а также руководители работ. Все средства индивидуальной защиты разделяются на виды в зависимости от того, какие органы они предохраняют: тело человека (кожные покровы), органы дыхания, зрения, слуха.

На установке предусмотрены следующие виды СИЗ, СИЗОД:

1. Промышленные фильтрующие противогазы – применяются для защиты от вредных для здоровья аэрозолей, газов и паров и их сочетаний в окружающем воздухе при условии содержания в нем кислорода не менее 18 %об. (согласно инструкции по применению средств защиты органов дыхания от действия токсичных паров и газов) и объемного содержания вредных веществ не более 0,5 %об. Фильтрующие противогазы предназначены только для выхода из загазованной зоны.

2. Противогаз шланговый, без принудительной подачи воздуха. Применяется в тех случаях, когда расстояние от места заюора чистого воздуха до места

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		51

работы не более 10 метров. При работе в шланговом противогазе необходимо через каждые 30 минут отдыхать на свежем воздухе не менее 15 минут. Применение шланговых противогазов обязательно при производстве работ внутри аппаратов, резервуаров и другой аналогичной закрытой аппаратуры, в колодцах.

3. Воздушно-дыхательные аппараты применяются при проведении плановых газоопасных и аварийно-спасательных работ в среде не пригодной для дыхания.

4. Спецодежда, спецобувь – для защиты тела человека от воздействия вредных веществ.

5. Наушники противοшумные – для защиты органов слуха от воздействия производственного шума.

6. Защитные каски с подшлемниками в комплекте с подбородочным ремнем – для защиты головы от травм.

7. Рукавицы – для защиты рук от механических повреждений, влаги, действия химических веществ, ожогов, холода.

8. Очки защитные – для органов зрения.

Во время работы обслуживающий персонал обязан пользоваться выданной им спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты. Персонал, обслуживающий установку, должен носить спецодежду в застегнутом виде. Все работники установки обязаны осуществлять хранение, выданных им в индивидуальное пользование СИЗ только в специальных металлических шкафах с двумя отделениями (для чистой и рабочей одежды), установленных в специально оборудованных помещениях (гардеробных).

Противοгазы, выдаваемые работникам, надлежит подбирать по размерам и хранить на рабочих местах в особых шкафах, каждый в своей ячейке. На каждой ячейке и на сумке противогаза должна быть укреплена бирка с указанием фамилии владельца, марки фильтрующей коробки и размера маски. В процессе эксплуатации противогазы должны проверяться 1 раз в 3 месяца с записью в паспорте СИЗ, подтверждающую их пригодность.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						52
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Аварийный запас фильтрующих, а также изолирующих противогазов должен храниться в ящике под пломбой, шланговые противогазы в опломбированных чемоданах согласно «Правил безопасности для газоперерабатывающих заводов и производств». Целостность пломбы аварийного запаса проверяется при приеме и сдаче смены обслуживающим персоналом. Наличие и состояние аварийного запаса не реже одного раза в месяц проверяется работником в соответствии с графиком, утвержденным главным инженером завода [10].

3.3 Мероприятия по защите окружающей среды при подготовке установки к проведению реконструкции объекта

Защита гидросферы

При подготовке и ведении монтажных и ремонтных работ сточные воды дополняются сбросами от промывки, пропарки и гидравлических испытаний технологического оборудования.

Гидравлические испытания аппаратов проводятся 1 раз в 8 лет. Перед гидроиспытанием проводят промывку аппаратов. Количество сточных вод при этом, согласно технологической части проекта установки, составляет 10% от объема аппарата. Омывание аппаратов после гидроиспытаний ведется последовательно в течение 24 часов.

Стоки после гидроиспытаний аппаратов и трубопроводов, ливневые воды после промывки и сбросы с помещений установки промливневой и ливневой канализации завода отводятся с установки и далее направляются на очистные сооружения. Бытовые стоки направляются в канализационную систему.

Защита атмосферы

После останова блока на ремонт производится освобождение оборудования и трубопроводов от продукта:

- 1) от жидких углеводородов – в дренажные емкости, откуда жидкие углеводороды перекачиваются в коллектор некондиционных сбросов на ГПЗ;
- 2) от газообразных углеводородов – на факел;
- 3) отработанный цеолит вывозится на санкционированный полигон.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						53
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

Основным назначением факельных систем является обеспечение безопасности в случае аварийных остановок и неконтролируемых изменений технологических процессов. В факельные системы подаются также сбросы технологических сред при плановых пусках и остановках, а в отдельных случаях и в ходе технологического процесса, которые могут содержать вредные компоненты.

Сброс вредных веществ на факел создает более благоприятные санитарно-гигиенические условия по сравнению с прямым выпуском в атмосферу. Это обеспечивается как за счет окисления вредных веществ до менее опасных, так и за счет лучших условий рассеивания выбросов в атмосферу.

Исходя из назначения факельных систем, должна быть обеспечена их постоянная готовность к сжиганию аварийных выбросов. Достигается это за счет непрерывного контрольного горения на пилотной горелке и подачи затворного газа в факельный ствол. Подача затворного газа необходима также для предотвращения проникновения кислорода воздуха в факельный ствол и, как следствие, возможности образования в факельной системе взрывчатой газозооушной смеси.

Защита литосферы

В период строительства площадки плодородный слой грунта вывозится и складывается во временный отвал. После окончания строительства снятый растительный грунт используется для газонов и озеленения промышленной площадки.

После остановки блока очистки смеси на ремонт, метановая и азотно-метановая фракция адсорберы освобождаются от уловленного масла через дренажные системы в герметичную тару, исключающую пролив масла на землю. Отработанные смазочные масла собираются на центральном заводском пункте сбора отработанных масел.

Для дополнительной защиты технологическая площадка имеет твердое покрытие с бордюром, препятствующее разливу масла на землю.

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе обосновано применение в качестве газа регенерации и охлаждения адсорберов смеси азотно-метановой и метановой фракций, на установке № 25 Гелиевого завода.

Предлагаемая модернизация позволит повысить качество осушки и очистки природного газа от сернистых соединений за счет сохранения адсорбционной емкости цеолита в течение всего периода службы, увеличить объем переработки товарного газа на гелиевых блоках, получать ежегодно дополнительно несколько тонн этана, ШФЛУ, гелия.

В разделе «Литературный обзор» рассмотрены основные характеристики процессов адсорбции и регенерации, свойства применяемых на установке синтетических цеолитов.

В разделе «Технологическая часть» предложена схема блока очистки смеси азотно-метановой и метановой фракций от паров компрессорного масла, характеристика предлагаемой в качестве газа регенерации и охлаждения смеси азотно-метановой и метановой фракций, выполнены расчеты процессов адсорбции, регенерации адсорбента, количества цеолита и минимальной высоты его загрузки; подтверждено, что гидравлическое сопротивление слоя адсорбента обеспечивает механическую прочность гранул на раздавливание.

В разделе «Безопасность и экологичность производства» рассмотрены опасные и вредные производственные факторы. С целью обеспечения минимального уровня опасности производства и оптимальных санитарно-гигиенических условий труда работающих описан комплекс технических, технологических и организационных мероприятий по снижению рисков. Рассмотрены индивидуальные и коллективные средства защиты при эксплуатации установки. Представлен комплекс мер по защите окружающей среды.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Герман О.О			<i>Модернизация установки адсорбционной осушки газа</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		Охотникова Г.Г.				У	55	57
<i>Н. контр.</i>		Родина Т.А.			<i>АМГУ, ИФФ, 618-об</i>			
<i>Утв.</i>		Гужель Ю.А.						

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Шумский, Н. М. Основные способы осушки газа / Шумский, Н. М. Грынин, О. Б. Шумская, К. А. // Международный научный журнал. – 2019. – Вып. № 24 (262): Технические науки. – С. 158-159.

2 Козьмина. Т.П., Косолобенкова Л.Н., Комарова О.Г., Дрожжина М.А., Соколова М.А. Современное состояние газовой промышленности.// обз.инф. - Сер.: Газификация. Природный газ в качестве моторного топлива. Подготовка, переработка и использование газа. – М.: ООО ИРЦ Газпром, 2007 г. – С 6.

3 Афанасьев А.И., Афанасьев Ю.М., Бекиров Т.М., и др., Технология переработки природного газа и конденсата. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2002. – Ч. 1. – 517 с.: ил.

4 Ширяев, Е. В. Сравнительный анализ технологий осушки газа при обустройстве газового месторождения Каменномысское-Море / Ширяев, Е. В. Юрецкая, Т. В. // Научный журнал. – 2015. – Вып. № 11 (91): Технические науки. – С. 472-474.

5 А. И. Скобло, Ю. К. Молоканов, А. И. Владимиров, В. А. Щелкунов. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. – М., «Недра-Бизнесцентр», 2000 – 677 с.

6 Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1984. – 592 с.

7 Лapidус А.Л., Голубева И.А., Жагфаров Ф.Г. Газохимия: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. – 405 с.

8 Лазарев В.И. Очистка газов от сернистых соединений твердыми сорбентами //В сборнике «Газохимия в XXI веке. Проблемы и перспективы». – М.: Нефть и газ, 2003. – С. 251-260.

					<i>ВКР.161862.180301.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Герман О.О</i>			<i>Модернизация установки адсорбционной осушки газа</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Охотникова Г.Г.</i>				У	56	57
<i>Н. контр.</i>		<i>Родина Т.А.</i>			<i>АмГУ, ИФФ, 618-об</i>			
		<i>Гужель Ю.А.</i>						

9 Толмачев А.М., Годовиков И.А., Кузнецова Т.А., Крюченкова Н.Г. Банк данных по адсорбции. Сборник материалов XIV Всероссийского симпозиума с участием иностранных студентов. Актуальные проблемы теории адсорбции, пористости и адсорбционной селективности. М.: Изд-во ИФХЭ. – 2010. – С. 24.

10 Крячков А.В. Особенности и преимущества адсорбционной подготовки газа // Нефть и газ. – 2004. – № 12. – С. 51-57.

11 Молчанов С.А. Разработка процесса осушки и очистки природного сернистого газа силикагелем и цеолитом// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: ГАНГ им. И.М. Губкина, 2001. – 101 с.

12 Технологический регламент установки № 25 «Очистки сырьевого газа от сернистых соединений II очереди Оренбургского гелиевого завода», 2018 – 270.

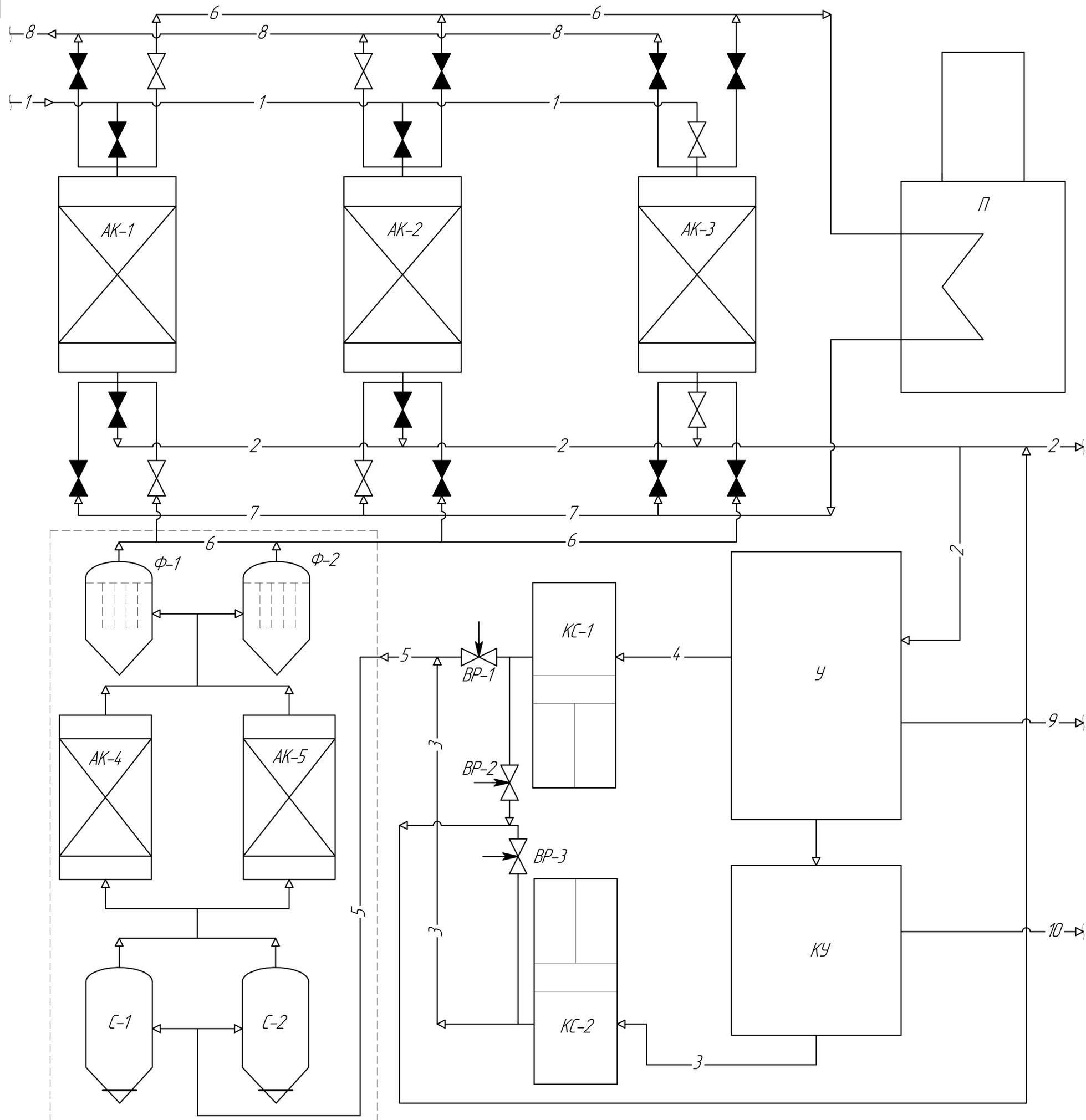
13 Бусыгина Н.В., Бусыгин И.Г. Технология переработки природного газа и газового конденсата. – Оренбург: ИПК «Газпромпечатъ» ООО «Оренбурггазпроммервич», 2002 – 432 с.

14 Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. – М.: Химия, 1983. – 272 с., ил.

15 ГОСТ 31447-2012. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия (с Поправкой). – Введ. 2015-01-01. – Техническим комитетом по стандартизации ТК 357 ;М. : Стандартиформ, 2015. – 36 с.

16 Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Изд-е 2. Ч 2. Массообменные процессы и аппараты. – М.: Химия, 1995. – 368 е.: ил.

					ВКР.161862.180301.ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	Недокум.	Подп.	Дата		



Условное обозначение	Графическое	Наименование среды в трубопроводе
Букв.	1	Сырой газ
2	2	Товарный газ
3	3	Азотно-метановая фракция
4	4	Метановая фракция
5	5	Смесь метановой и азотно-метановой фракций
6	6	Газ охлаждения
7	7	Газ регенерации
8	8	Насыщенный газ регенерации
9	9	Широкая фракция легких углеводородов
10	10	Гелиевый концентрат

Обозначение	Наименование	Кол.
AK1-5	Адсорбционная колонна	5
П	Печь	1
С1-2	Сепаратор	2
Ф1-2	Фильтр	2
КС1-2	Компрессорная станция	2
У	Установка низкотемпературной конденсации и ректификации	1
КУ	Компрессорная установка	1
ВР1-3	Вентиль регулирующий	3

ВКР.16.1862.180301ТС

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Установка адсорбционной осушки газа Технологическая схема	Лит.	Масса	Максимум
Разраб.	Герман Д.О.					У		
Проб.	Охотникова Г.Г.							
Т.контр.								
Исполн.	Родина Т.А.							
Удп.								

Лист 1 из 1
Изм. № 01
Табл. и данн.
Лист № 01
Всего листов № 1
Лист № 01
Справ. №

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

ОТЗЫВ

на бакалаврскую работу студента инженерно-физического факультета

Фамилия: Герман

Имя: Оксаны

Отчество: Олеговны

Направление подготовки: 18.03.01 «Химическая технология»

Тема бакалаврской работы: Модернизация установки адсорбционной осушки газа

1. Объем работы:

- количество листов дипломной работы – 57 стр.;
- количество рисунков и таблиц – 3 рисунка, 4 таблицы;
- число приложений – нет.

2. Соответствия содержания работы заданию (полное или неполное):
содержание бакалаврской работы в полной мере соответствует заданию.

Вопросы задания, не нашедшие отражения в работе:

вопросы задания в бакалаврской работе отражены в полном объеме.

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

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

3. Достоинства бакалаврской работы:

выполнена модернизация установки осушки газа и расчет основного оборудования.

4. Недостатки бакалаврской работы:

серьезные недостатки в бакалаврской работе отсутствуют.

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

бакалаврская работа выполнена самостоятельно.

6. Масштабы и характер использования специальной литературы:

нормативные акты и специальная литература для решения поставленных задач использованы в достаточном объеме.

7. Достоинства и недостатки оформления текстовой части и графического материала:

текстовая часть и графический материал оформлены в соответствии с правилами оформления бакалаврских работ, с незначительными стилистическими ошибками.

8. Особенности общепрофессиональной и специальной подготовки выпускников:

при выполнении выпускной квалификационной работы О.О. Герман продемонстрировала достаточно высокий уровень профессиональной компетентности.

9. Практическая значимость (внедрение) результатов бакалаврской работы:

предложения, представленные в бакалаврской работе, могут быть внедрены и использованы в деятельности предприятия.

10. Общее заключение и предлагаемая оценка работы:

бакалаврская работа соответствует требованиям федерального государственного образовательного стандарта и заслуживает оценки «отлично», а Герман Оксана Олеговна – присвоения квалификации бакалавр по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология».

«30» июня 2020 г.

Руководитель



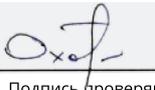
Г.Г. Охотникова



СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе
Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Герман Оксана Олеговна
Подразделение	группа 618-об
Тип работы	Выпускная квалификационная работа
Название работы	ВКР Герман.pdf
Название файла	ВКР Герман.pdf
Процент заимствования	37.66 %
Процент самоцитирования	0.00 %
Процент цитирования	8.51 %
Процент оригинальности	53.83 %
Дата проверки	15:51:52 22 июня 2020г.
Модули поиска	Модуль поиска ИПС "Адилет"; Модуль поиска "АмГУ"; Модуль выделения библиографических записей; Сводная коллекция ЭБС; Модуль поиска "Интернет Плюс"; Коллекция РГБ; Цитирование; Модуль поиска переводных заимствований; Модуль поиска переводных заимствований по eLibrary (EnRu); Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu); Коллекция eLIBRARY.RU; Коллекция ГАРАНТ; Коллекция Медицина; Диссертации и авторефераты НББ; Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU; Модуль поиска перефразирований Интернет; Коллекция Патенты; Модуль поиска общеупотребительных выражений; Кольцо вузов
Работу проверил	Охотникова Галина Генриховна ФИО проверяющего
Дата подписи	23.06.2020  Подпись проверяющего

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



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