

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

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра химии и химической технологии
Направление подготовки 18.03.01 – Химическая технология
Направленность (профиль) образовательной программы Химическая техноло-
гия природных энергоносителей и углеродных материалов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ Ю.А. Гужель
«__» _____ 2024 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Расчет установки осушки природного газа

Исполнитель

студент группы 0107-об

(подпись, дата)

В.А. Шешера

Руководитель

доцент, канд. хим. 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 2024

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

Институт компьютерных и инженерных наук
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 Шешера Валерии Андреевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Расчет установки осушки природного газа» утверждена Приказом от 17.04.2024 г № 1016-уч

2. Срок сдачи студентом законченной работы 07.06.2024 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: производительность установки – 6 млрд м³/год; время работы установки – 8 000 ч/год; температура и давление осушаемого газа: 20 °С, 7,2 МПа. Литературные данные. Техническая документация, нормативная и иная документация.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по процессам осушки газа. Описание технологической схемы установки адсорбционной осушки природного газа. Расчет установки осушки природного газа – материальные балансы, основное оборудование блока осушки. Безопасность и экологичность производства.

5. Перечень материалов приложения: Технологическая схема установки адсорбционной осушки газа природного газа.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А. В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность».

7. Дата выдачи задания 25.04.2024 г.

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

Задание принял к исполнению 25.04.2024 г. _____

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 64 с., 3 рисунка, 8 таблиц, 58 формул, 30 источников.

УСТАНОВКА ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, АД-СОРБЦИЯ, ОХЛАЖДЕНИЕ, ЦЕОЛИТЫ, РЕГЕНЕРАЦИЯ, АДСОРБЕНТЫ, ТОЧКА РОСЫ, КРИСТАЛЛОГИДРАТЫ, СЫРЬЁ И ПРОДУКЦИЯ ПРОЦЕССА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА.

Целью работы является выполнение технологического расчёта установки осушки природного газа. На основании литературных источников, научных статей, журналов и дополнительных материалов, были изучены основные методы осушки газа.

Представлено описание технологии процесса осушки газа, характеристика параметров сырья и готовой продукции, схема установки адсорбционной осушки газа. Выполнен технологический расчет основного и вспомогательного оборудования.

Рассмотрены коллективные и индивидуальные средства защиты на производстве, должностные инструкции оператора установки осушки газа.

					ВКР.377135.180301.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Шешера В.А.			Лит	Лист	Листов
Пров.		Охотникова Г.Г.			У	4	64
Н. Контр.		Родина Т.А.			АмГУ, ИКиИН, гр. 0107-об		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.					

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Литературный обзор	6
1.1 Состав природных газов и газоконденсатов	6
1.2 Методы осушки газа	8
1.2.1 Теоретические основы метода осушки охлаждением	11
1.2.2 Теоретические основы процесса абсорбционной осушки газов	12
1.2.3 Теоретические основы метода адсорбционной осушки газов	16
1.2.3.1 Физико-химическая сущность метода адсорбционной осушки газов	16
1.2.3.2 Адсорбенты для адсорбционной осушки природного газа	18
2 Технологическая часть	26
2.1 Характеристика исходного сырья и готовой продукции	26
2.2 Описание технологической схемы установки адсорбционной осушки природного газа	27
2.3 Исходные данные для расчёта установки осушки природного газа	30
2.3.1 Расчёт процесса адсорбции	31
2.3.2 Расчёт процесса регенерации	37
2.4 Расчёт вспомогательного оборудования	40
2.4.1 Расчёт сепаратора	41
2.4.2 Расчёт теплообменника	44
2.4.3 Расчёт печи	46
3 Безопасность и экологичность	54
3.1 Основные источники опасности при эксплуатации установки осушки природного газа	54
3.2 Средства и системы защиты при эксплуатации установки осушки природного газа	55
3.3 Воздействие на окружающую среду при эксплуатации установки осушки природного газа	60
Заключение	62
Библиографический список	63

ВКР.377135.180301.ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Шешера В.А.		
Пров.		Охотникова Г.Г.		
Н. Контр.		Родина Т.А.		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.		
Расчет установки осушки природного газа				
		Лит	Лист	Листов
		У	3	64
АмГУ, ИКиИН, гр. 0107-об				

ВВЕДЕНИЕ

Природный газ, добываемый на газовых и газоконденсатных месторождениях, транспортируется на большие расстояния до потребителей по магистральным газопроводам. В связи с этим при эксплуатации месторождений особое внимание уделяется вопросам качественной подготовки природного газа. Основным требованием к качеству подготовки природного газа является отсутствие конденсации воды и углеводородов при давлениях, соответствующих режимам работы магистрального газопровода. Данные требования обусловлены тем, что природный газ, добываемый из подземных источников, насыщен капельной влагой, тяжелыми углеводородами и механическими примесями. Избыточная концентрация водяных паров может создать аварийные ситуации при транспортировке газа по магистральным газопроводам. Кроме того, возможно образование гидратов, что приводит к снижению пропускной способности трубопроводов и может вызывать закупорку и повреждение технологического оборудования. Таким образом, осушка природного газа имеет важнейшее значение для успешной работы всей системы подготовки газа и его транспортировки к конечному потребителю.

Целью выпускной квалификационной работы является анализ основных методов осушки природного газа, выполнение расчёта и обоснование выбора основного и вспомогательного оборудования.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить основы процесса осушки природного газа различными методами, его назначение и способы организации;
2. Ознакомиться с сырьём и продукцией процесса;
3. Выполнить технологический расчёт установки;
4. Выполнить графическую часть в виде чертежа установки осушки природного газа.

					ВКР.377135.180301.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Шешера В.А.				Лит	Лист	Листов
Пров.	Охотникова Г.Г.				У	5	64
Н. Контр.	Родина Т.А.				АмГУ, ИКиИН, гр. 0107-об		
Зав. каф.	Гужель Ю.А.						

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Состав природных газов и газоконденсатов

Все углеводородные газы по их происхождению можно разделить на две большие группы: природные газы и газы нефтеперерабатывающих заводов.

Природные газы – это газы, добываемые непосредственно из земных недр, в зависимости от условий залегания они имеют различный состав. Углеводородные природные газы могут быть извлечены из месторождений трех типов: чисто газовых, нефтяных и газоконденсатных.

Газы чисто газовых месторождений (к ним чаще всего применимо название природный или сухой газ), в основном состоят из метана, содержание которого достигает 98 %. Для ряда месторождений содержание парафинов $C_2 - C_4$ составляет от 1,5 % до 7,0 %.

Попутные газы – газообразные углеводороды, сопровождающие сырую нефть, в условиях пластового давления растворенные в нефти и выделяющиеся в процессе ее добычи. Эти газы содержат от 30 % до 80 % метана, от 10 % до 26 % этана, от 7 % до 22 % пропана, от 4 % до 7 % бутана и изобутана, от 1 % до 3 % н-пентана и высших н-алканов. В этих газах содержатся также сероводород, диоксид углерода, инертные газы.

Газы газоконденсатных месторождений по составу близки к попутным газам, но выносятся на поверхность в сконденсированном виде в небольших количествах более тяжелые углеводороды (конденсаты), кипящие при температуре до 300 °С.

Газы нефтеперерабатывающих заводов – это легкие углеводороды, образовавшиеся при переработке нефти в результате деструктивных процессов (пиролиз, термический и каталитический крекинг, коксование, каталитический риформинг).

					ВКР.377135.180301.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Шешера В.А.			Лит	Лист	Листов
Пров.		Охотникова Г.Г.			У	6	64
Н. Контр.		Родина Т.А.			АмГУ, ИКиИН, гр. 0107-об		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.					
<i>Расчет установки осушки природного газа</i>							

Эти газы содержат насыщенные и, в отличие от природных газов, ненасыщенные углеводороды $C_1 - C_5$, а также водород и сероводород.

Природный газ широко используется в качестве недорогого топлива с высокой теплотворной способностью для бытовых и промышленных нужд. Для этих нужд из состава газа используется метан и частично этан.

Однако, также в природном газе содержатся ценные соединения, такие как: пропан, бутан и пентан, которые эффективно используются для других целей (химическое сырьё, моторное топливо). Поэтому перед подачей газа в магистральные трубопроводы из него необходимо извлечь тяжёлые углеводороды от этана до пентана.

Природный и попутный газ имеют различный углеводородный состав, но могут содержать капельную влагу, сероводород, азот, углекислый газ и другие газы. Влага, образуя с углеводородами газогидраты, снижает пропускную способность трубопроводов, сероводород и диоксид углерода вызывают интенсивную коррозию оборудования, труб, арматуры и не только.

Тем самым задачей промысловой подготовки газа является его очистка от механических примесей, тяжелых углеводородов, паров воды, сероводорода и диоксида углерода [1].

Для того что бы газ дошёл до потребителя в том виде, в котором его можно использовать, необходимо миновать ряд технологических процессов. Одним из таких является процесс осушки газа, который необходим в первую очередь для предотвращения гидратообразований в магистральных газопроводах.

На практике чаще всего используются процессы абсорбционной (осушка жидкими поглотителями) и адсорбционной (осушка твёрдыми адсорбентами) осушки.

Также, если в составе пластового газа на месторождении отмечается наличие «кислых» компонентов, то в первую очередь применяется очистка газа от данных компонентов (например, аминами) и одновременная частичная его

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

осушка. После этого проводится доосушка газа адсорбционными методами, затем газ обрабатывается в низкотемпературных процессах с целью выделения тяжелых углеводородов [2].

1.2 Методы осушки природного газа

Осушка углеводородных газов – важное звено в процессе подготовки природных газов к транспорту по магистральным газопроводам, установок охлаждения природных и нефтезаводских газов, циркуляции газов риформинга, установок получения этана, этилена, пропилена и иных технологических узлов, так как большинство сырых газов, не прошедших газоподготовку являются влагонасыщенными, то есть содержат максимум воды при определенных давлениях и температуре. При этом речь идет не о воде в свободной форме, которая может каплями лететь с газом и удаляется с помощью сепараторов, а о парах воды, для удаления которых требуются другие технологии и соответствующее оборудование [3].

При транспортировке или при технологических процессах подготовки или переработки природного газа (например, при сжижении) пары влаги, вследствие изменения температуры или давления, могут выпадать в виде капельной жидкости или гидратов, в том числе – вместе с углеводородами, осложняя работу транспортной системы, запорно-регулирующих устройств, АСУ и КИП, технологического оборудования [4].

Различают техногенные (искусственные) и природные (естественные) газовые гидраты. Техногенные могут образовываться при добыче газа (в призабойной зоне, стволе скважины, шлейфах и внутрипромысловых коллекторах), при промысловой и заводской переработке газа, производстве и хранении СПГ, в технологических и магистральных трубопроводах.

Формирование техногенных гидратов явление негативное, так как, отлагаясь на стенках труб и аппаратов, они снижают пропускную способность последних, увеличивая гидравлическое сопротивление, и могут вызвать гидроудар, разрыв трубопроводов и вывести установку из технологического режима.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

Образование газовых гидратов зависит от температуры, давления, влагосодержания, состава газовой смеси, воды, соотношения воды и газа.

Содержание паров воды в углеводородных газах обусловлено контактом газа и воды в пластовых условиях, составом добываемого газа, количеством солей в воде, контактирующей с данным газом, и условиями их обработки: промысловый трубопроводный транспорт, сепарация, очистка от примесей и ряда иных процессов [3].

Влажность газа характеризуется концентрацией воды в паровой фазе системы «газ – вода». Обычно она выражается массой паров воды в единице массы сухого газа (массовая влажность, г/кг) или в единице объема сухого газа (массово-объемная влажность, г/м³ или кг/1000 м³), а также числом молей паров воды в 1 моле сухого газа (молярная влажность, моль/кмоль).

Влагосодержание (влагоемкость) газа – это количество паров воды в состоянии их насыщения при данной температуре, давлении и составе газа.

Абсолютная влажность газа – это количество водяного пара в единице объема газовой смеси, приведенной к нормальным условиям ($T = 273 \text{ K}$, $P = 0,1 \text{ МПа}$); часто измеряется в г/м³ или кг/1000 м³.

Относительная влажность – отношение массы водяного пара в газовой смеси к массе насыщенного пара, который мог бы находиться в данном объеме при тех же давлении и температуре, то есть отношение абсолютной влажности к максимальной, соответствующей полному насыщению парами воды, при данной температуре и давлении (в %). Полное насыщение оценивается в 100 %.

Относительную влажность также выражают отношением парциального давления водяных паров в газе к давлению насыщенного пара при той же температуре.

Осушка газа – это технологический процесс удаления из газа паров влаги, то есть снижение абсолютной и относительной его влажности.

Степень осушки (остаточное содержание влаги) обычно зависит от температуры точки росы по влаге или влажности газа при рабочих или нормальных условиях [5].

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

Практически осушка газов ведется до содержания воды в газе, соответствующего требованиям национальных и отраслевых стандартов, регламентирующих, в частности, точку росы газов по воде; а также конкретным технологическим условиям отдельных процессов переработки газов.

В соответствии с требованиями ГОСТ 34867-2022 «Газ природный, подготовленный к транспортированию по магистральным газопроводам» допустимая температура точки росы газов, подготовленных к подаче в магистральные газопроводы для умеренного климатического района, ограничивается значением в минус 10 °С.

Температура точки росы по влаге – это её значение при данном давлении, когда пары влаги приходят в состояние насыщения, то есть это наивысшая температура, при которой начинают конденсироваться капли влаги.

Также точка росы по влаге может определяться как давление начала конденсации водяных паров при заданной температуре, и в этом случае она называется точкой росы газа по давлению.

Депрессия точки росы – это разность значений температуры (давления) точки росы влажного и осушенного газа [6].

Столь жесткие ограничения влажности газов обусловлены следующими негативными последствиями присутствия в них воды:

- коррозией технологического оборудования, в том числе за счет интенсификации коррозионного действия кислых компонентов газа;
- образованием в зонах повышенных давлений и пониженных температур газовых гидратов;
- конденсацией и накоплением жидкости в линейных частях трубопроводов, ударно-механическим воздействием взвешенных в газе частиц влаги на движущиеся части газовых компрессоров или иного технологического оборудования.

Существует множество методов осушения газа, однако их практическая значимость различна, и не все они применимы для производственных целей.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

Кроме того, при их выборе необходимо учитывать условия конкретной местности (от этого зависит, например, значение «точки росы»), а также экономическую целесообразность.

Основными процессами осушки природных газов являются процессы, осуществляемые четырьмя наиболее широко применяемыми в промышленности методами: охлаждением, абсорбцией, адсорбцией и комбинированием этих трёх методов. При этом адсорбционный метод характеризуется наибольшей глубиной извлечения влаги [7].

Кроме того, общеизвестно, что методы осушки газов по классификационному признаку подразделяют на три основные группы: физические, химические, физико-химические.

Физический метод заключается в искусственном охлаждении газов, их компримировании, а также в сочетании компримирования с охлаждением.

Суть химического метода осушки заключается в химической реакции между водой и химическими веществами, причем имеются химические реагенты, обеспечивающие практически полную осушку газа. Однако сложность или невозможность регенерации этих химических реагентов делает их непригодными для использования в качестве промышленных осушителей.

Физико-химический способ процесса осушки природного газа, основанный на поглощении влаги различными поглотителями, представлен двумя основными группами. Первая группа включает адсорбцию влаги твердыми адсорбентами, а вторая группа – абсорбцию влаги жидкими абсорбентами.

1.2.1 Теоретические основы метода осушки газа 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.

К примеру, если охладить газ, который до этого был теплым, то часть влажного пара сконденсируется. Конденсат, который выпадет в данном случае, достаточно просто удалить, а сам газ будет иметь более низкую точку росы. Для

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

того чтобы достичь необходимой осушки газа таким способом, нужно, чтобы он охладился до температуры, которая будет немного ниже, чем минимальный показатель в трубопроводе.

Такой метод может осуществляться двумя способами: прямым и непрямым охлаждением.

Метод охлаждения самостоятельного применения для осушки газа не нашел, он обычно используется в комбинации с другими методами, например на установках низкотемпературной сепарации с впрыском ингибиторов гидратообразования или для предварительного удаления основного количества влаги при использовании других методов осушки [8].

1.2.2 Теоретические основы процесса абсорбционной осушки газов

Для предотвращения конденсации воды из газов при их охлаждении и образовании гидратов одним из наиболее важных звеньев в процессе подготовки газа к транспорту является осушка от влаги абсорбционным методом с применением жидких осушителей [9].

Абсорбция – избирательный и обратимый процесс поглощения газов или паров жидкими поглотителями (абсорбентами). В ходе данного процесса происходит переход вещества или группы веществ из газовой или паровой фазы в жидкую.

Различают физическую и химическую (хемосорбция) абсорбцию.

Физической абсорбцией называется процесс, при котором химические реакции между абсорбентом и компонентами газа или жидкости отсутствуют. Если улучшение разделения достигается с помощью химических реакций процесс называется химической абсорбцией.

При физической абсорбции все жидкости в определённой степени поглощают газы.

На количество абсорбируемого газа влияют:

1) давление газа: чем оно больше, тем выше растворимость газа в жидкости;

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

2) температура растворителя: чем она выше, тем меньше растворимость газа;

3) химические и физические свойства газа.

Для эффективного разделения газовой смеси физической абсорбцией между компонентами должны существовать различия в парциальных давлениях.

Физическая абсорбция наиболее эффективна в том случае, когда компоненты смеси значительно различаются по химическим свойствам, как, например, в случае смеси воды (полярного соединения) и неполярного газа.

Молекулы полярного абсорбента, например, гликоля, сильно притягивают молекулы воды; на этом основан распространённый способ осушки газа.

По отношению к удаляемому компоненту химическая абсорбция – это двухступенчатый процесс, состоящее из следующих ступеней:

- 1) физическая абсорбция газа абсорбентом;
- 2) реакция газа с абсорбентом.

В наиболее распространённых в газопереработке процессах химической абсорбции для снижения концентрации кислых газов (диоксида углерода и сероводорода) используются обратимые химические реакции.

Этап физической абсорбции проводится при умеренных температурах и высоких давлениях; на химические реакции в жидкой фазе на втором этапе давление влияет минимально. Слишком низкие рабочие температуры могут стать причиной высокой вязкости и низких скоростей реакции. Так как реакции, участвующие в процессах химической абсорбции, являются экзотермическими, обратные реакции на этапе регенерации растворителя (абсорбента) требуют подведения значительных количеств тепла.

В качестве абсорбентов на предприятиях используются гликоли – двухатомные спирты жирного ряда с общей формулой $C_nH_{2n}(OH)_2$.

Низшие гликоли – это бесцветные, прозрачные, вязкие жидкости без запаха, со сладковатым вкусом, гигроскопичны, смешиваются с водой, а также со спиртами, кислотами и аминами во всех соотношениях [11].

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

Для извлечения влаги из природного газа можно применять различные осушители, которые должны иметь:

- 1) достаточную поглотительную способность в широком интервале концентрации, давления и температур;
- 2) низкие давления насыщенных паров (низкая летучесть), чтобы потери, связанные с их испарением, были незначительными;
- 3) температуру кипения, отличающуюся от температуры кипения воды настолько, чтобы отделение поглощённой воды осушителя могло осуществляться простыми методами;
- 4) высокую селективность в отношении компонентов газа, то есть низкую взаиморастворимость с ними;
- 5) инертность по отношению к ингибиторам, используемым в процессах добычи и переработки газа;
- 6) малую коррозивную активность;
- 7) низкую вспениваемость в условиях контакта с газовой смесью;
- 8) высокую устойчивость против окисления и термического разложения

Выбор абсорбента предполагает неизбежный компромисс между перечисленными свойствами. Предпочтительный абсорбент может даже быть смесью разных абсорбентов. Смеси, содержащие как физические, так и химический абсорбенты, относятся к комбинированным. Это, как правило, смеси, способствующие снижению энергопотребления на регенерацию и в то же время сохраняющие высокую избирательность.

Этим требованиям в той или иной степени отвечают этиленгликоль (ЭГ), диэтиленгликоль (ДЭГ), триэтиленгликоль (ТЭГ), пропиленгликоль (ПГ), смеси гликолей с эфирами и т.д.

Водные растворы ЭГ по сравнению с растворами ДЭГ и ТЭГ имеют более низкую температуру замерзания, большую степень предотвращения гидратообразования при одинаковых концентрациях, меньшую вязкость при рабочих

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

температурах сушки и более низкую растворимость в углеводородном конденсате, что снижает их потери за счёт растворимости в конденсате.

Этиленгликоль имеет экологическое преимущество над диэтиленгликолем и триэтиленгликолем: при попадании в водоёмы он подвергается полному биологическому разложению в отличие от ДЭГ и ТЭГ.

Существенным недостатком ЭГ является высокое давление насыщенных паров. Например, при температуре 20 °С этот показатель для 99 % раствора ЭГ в 2,5 и 7 раз выше, чем упругость паров ДЭГ и ТЭГ, соответственно. По этой причине ЭГ не получил применение при противоточной осушке газа, т.к. его потери с газом были бы в несколько раз больше. Растворы ЭГ могут быть успешно применены в качестве ингибитора на установках низкотемпературной сепарации.

В целом физические абсорбенты применяют в тех случаях, когда исходная концентрация разделяемых компонентов высока, а высокой чёткости разделения не требуется. Они наиболее целесообразны при больших значениях парциальных давлений разделяемых компонентов.

Химическая абсорбция, как правило, наиболее целесообразна в тех случаях, когда небольшие концентрации примесей в сырье требуется снизить до нескольких частей на миллион. В этом случае значительно более высокий расход энергии на регенерацию абсорбентов экономически оправдывает себя [12].

Как правило, после абсорбции проводится процесс десорбции – переход вещества из жидкой фазы в паровую или газовую. В результате целевой компонент выделяется из жидкого поглотителя. В процессе абсорбции происходит растворение газа в жидкости, этому способствуют повышение давления и понижение температуры. В процессе десорбции происходит выделение газа из раствора, этому способствуют понижение давления и повышение температуры.

Абсорбент, поглотивший в процессе абсорбции целевые компоненты, называется насыщенным, или отработанным.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

Абсорбент, освобожденный в процессе десорбции от целевых компонентов, называется регенерированным, после охлаждения он может быть снова возвращен на абсорбцию. Таким образом, получается замкнутая абсорбционно-десорбционная система [10].

Данный метод осушки имеет ряд экономических и технологических преимуществ перед адсорбцией и осушкой охлаждением:

- незначительные затраты на строительство сооружений (примерно в 3–4 раза ниже, чем при адсорбции);
- незначительный перепад давлений на установке;
- непрерывность процесса, сравнительная простота управления технологическим процессом;
- возможность разработки компактных, легких, транспортабельных установок;
- незначительные потери абсорбента;
- более длительный срок службы абсорбента по сравнению с твердым поглотителем и меньшая стоимость.

К основным недостаткам процесса абсорбции относятся следующие:

- меньшее извлечение влаги, чем при осушке адсорбентами;
- возможность увеличения потерь абсорбента в присутствии некоторых тяжелых углеводородов из-за возможности растворов к вспениванию.

1.2.3 Теоретические основы процесса адсорбционной осушки газов

Отличительной особенностью адсорбционного метода осушки является высокая степень осушки газа вне зависимости от его параметров, компактность установки, а также малые капитальные затраты для установок малой мощности.

Установки адсорбционной осушки позволяют достигать сравнительно низкой точки росы – порядка минус 70 °С и ниже, при этом повышение давления в системе влияет на эффективность процесса незначительно.

При этом основными недостатками метода являются большие расходы на абсорбент, высокое сопротивление потоку газа и затраты на строительство установок большой мощности [13].

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

1.2.3.1 Физико-химическая сущность процессов адсорбционной осушки газов

Физико-химическая сущность процесса адсорбционной осушки состоит в избирательном поглощении поверхностью пор твердого адсорбента молекул воды с последующим извлечением их из пор при внешних воздействиях, главным образом, при повышении температуры адсорбента или снижении давления среды.

Технологическое обеспечение процессов осушки предполагает использование адсорбционных аппаратов периодического действия с неподвижным слоем осушителя. Организация непрерывной работы узла осушки газов в производственных условиях предполагает включение в технологическую схему, как минимум, двух адсорберов, позволяющих попеременно реализовывать стадии адсорбции, нагрева адсорбента, его регенерации и охлаждения.

Принципиальная схема установки приведена на рисунке 1.

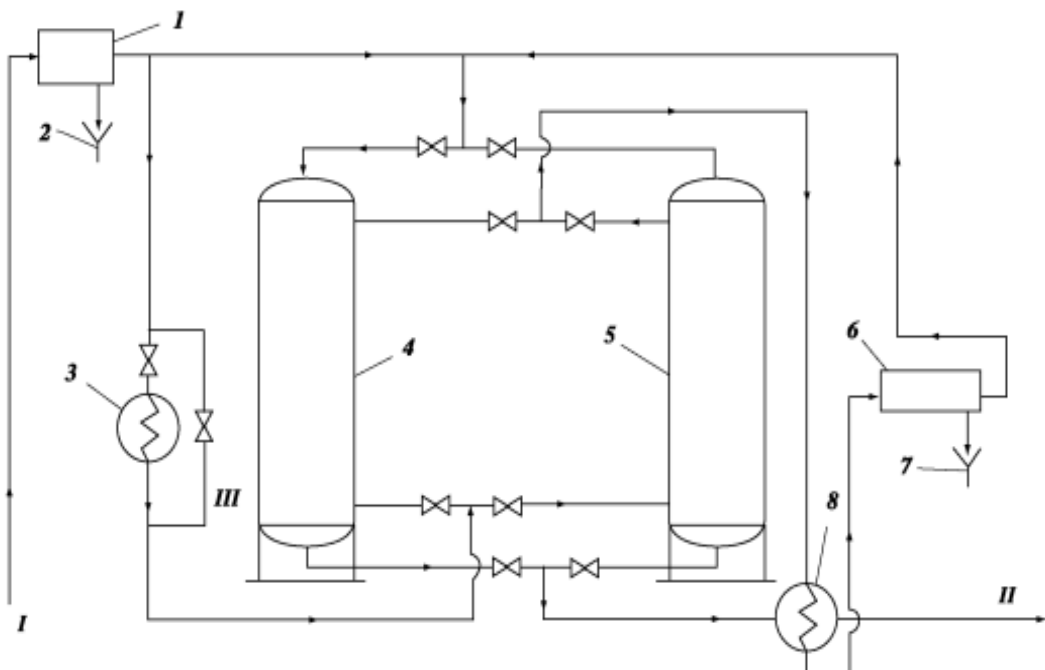


Рисунок 1 – Технологическая схема осушки газа твёрдыми поглотителями:

1 – каплеотбойник; 2, 7 – сбор стоков; 3 – трубчатый нагреватель; 4, 5 – адсорберы; 6 – сепаратор; 8 – теплообменник; I – влажный газ; II – осушенный газ; III – обводная линия

Влажный газ, пройдя через каплеотбойник 1, поступает сверху в один из адсорберов и проходит его. Другой адсорбер в это время находится на стадии регенерации или охлаждения. Осушенный газ поступает на дальнейшую переработку или в газопровод. Часть исходного газа, пройдя через трубчатый нагреватель 3, направляется в низ другого адсорбера для регенерации осушителя. Газ с регенерации проходит теплообменник 8 для охлаждения, сепаратор 6.

Полный цикл работы одного аппарата включает все четыре означенных стадии.

Адсорбция влаги реализуется, как правило, при температуре от 35 °С до 50 °С, давлении от 8 до 12 МПа и длительности контакта газа с адсорбентом не менее 10 секунд при средней скорости газа в адсорбере от 0,15 до 0,30 м/с. Длительность адсорбции выбирают, исходя из адсорбционной емкости поглотителя, начальной и конечной влажности газа, загрузки адсорбента в аппарате [14].

Нагрев адсорбента может производиться горячим газом, подаваемым из трубчатых нагревателей.

Для предотвращения местных перегревов адсорбента, нормализации газогидромеханического режима установки скорость нагрева ограничивается и не превышает, как правило, 60 °С. Время, затрачиваемое на нагрев адсорбента, при этом составляет от 0,60 до 0,65 от продолжительности периода адсорбции [15].

Регенерация адсорбента предполагает десорбцию поглощенной им воды и восстановление тем самым его адсорбционной активности. Процесс десорбции обеспечивается подачей через слой адсорбента нагретого газа, начинается при повышенных температурах (от 160 °С до 180 °С) и варьируется в зависимости от типа используемого адсорбента.

Охлаждение адсорбента начинается после завершения десорбции и переключения адсорбера на режим адсорбции (осушки). Охлаждение проводится исходным холодным газом. В среднем, период охлаждения занимает от 0,35 до 0,40 от времени, затрачиваемого на адсорбцию [16].

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

Использование установок адсорбционной осушки является технологически и экономически оправданным при необходимости удаления из газа вместе с влагой и иных вредных химических соединений, так как одновременно селективно удаляются ацетилен, алифатические, ароматические и серосодержащие углеводороды [15].

1.2.3.2 Адсорбенты для адсорбционной осушки природного газа

Реализация процесса адсорбционной осушки газов предполагает использование специфичных тверды поглотителей влаги – адсорбентов. Современное толкования понятия «адсорбент» позволяет охарактеризовать его как высокодисперсный природный или искусственный материал с большой удельной поверхностью, на которой происходит адсорбция веществ из соприкасающихся с ней газов или жидкостей [17].

Для осушки природного газа в промышленных установках применяют следующие адсорбенты: силикагели, оксид алюминия и цеолиты (молекулярные сита). Эти адсорбенты в зависимости от наличия в них пор преобладающего размера подразделяются на микропористые, макропористые и переходнопористые. Так, силикагели относят к переходнопористым, а цеолиты к микропористым адсорбентам. Адсорбент в каждом случае выбирают, исходя из требуемых условий осушки, так как свойства адсорбентов-осушителей различны.

Одной из наиболее значимых характеристик применяемых адсорбентов является их поглотительная или адсорбционная способность, определяемая концентрацией адсорбтива в единице массы или объема адсорбента.

Поглотительная способность адсорбентов для данного вещества зависит от условий проведения процесса адсорбции: температуры процесса, давления процесса, концентрации поглощаемого вещества, скорости движения потока адсорбата.

Помимо этого, адсорбционная емкость адсорбента зависит от его индивидуальных характеристик:

- объема пор;

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		19

- радиуса пор;
- структуры пор;
- размеров входных отверстий сорбционных полостей;
- удельной поверхности;
- химической природы.

Геометрические характеристики пор адсорбентов, регулярность их структуры позволяют производить селективное извлечение отдельных компонентов из состава газовых смесей.

Таким образом, выбор адсорбента лежит в основе обеспечения технологической и экономической эффективности процесса.

Преимущественные области использования наиболее распространенных адсорбентов приведены в таблице 1 [17].

Таблица 1 – Сферы использования распространенных адсорбентов

Адсорбент	Сфера использования адсорбента
Силикагели	Сушка газов, трансформаторных масел, использование в качестве поглотителя влаги в стеклянных упаковках
Цеолиты	Сушка газов, удаление воды из азеотропных смесей, очистка водорода, выделение олефинов и ароматических соединений из парафинов, получение кислорода из воздуха
Активированные угли	Адсорбция органических веществ, для очистки отработанных газов и сточных вод
Активированные земли	Сушка газов, трансформаторных масел, удаление хлористого водорода из водорода, очистка органических растворителей
Активированные глины	Удаление органических пигментов, полихлорированных бифенилов.

Задача осушки природных газом может быть эффективно решена использованием в качестве поглотителей синтетических цеолитов.

Данные адсорбенты характеризует ряд абсолютных преимуществ:

- высокая поглотительная способность, обеспечивающая достижения максимальной депрессии точки поры по воде;
- возможность селективного удаления влаги путем регулирования размеров пор;
- возможность комбинирования очистки газа и его осушки в случае необходимости;
- регулярность пор;
- механическая прочность, химическая устойчивость, нетоксичность.

Цеолиты представляют собой природные или синтетические кристаллические полярные алюмосиликаты, с развитой пористой структурой, способные поглощать воду и выделять ее при повышении температуры.

Типология синтетических цеолитов предполагает их разделение на типы: А, X и Y, отличающиеся кристаллической структурой и химическим составом.

Цеолиты типа А относятся к низкокремнистым формам, цеолиты типа X – к среднекремнистым, цеолиты типа Y – к высококремнистым; мольное соотношение оксидов кремния и алюминия для низкокремнистых цеолитов не превышает 2, а для среднекремнистых и высококремнистых – лежит в пределах от 2,2 до 3,3 и от 3,1 до 6,0, соответственно; при увеличении данного показателя повышается кислотостойкость цеолитов.

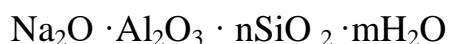
В качестве катионов в состав природных цеолитов обычно входят натрий, калий, кальций, реже магний, барий, литий, стронций [18].

Наибольшее распространение среди синтетических цеолитов получили цеолиты типов NaX, CaX, NaA, CaA; характеристика размеров входных окон пор означенных цеолитов приведена в таблице 2 [17].

Таблица 2 – Характеристика размеров входных окон пор цеолитов

Тип цеолита	Размер входных окон пор цеолитов, Å
NaA	4
CaA	5
CaX	8
NaX	9 - 10

Рассмотрим пример цеолита на основе натрия. Химическая формула натриевого цеолита записывается так:



Мольное отношение оксида натрия к оксиду алюминия в цеолите всегда равно единице. Отношение оксида кремния к оксиду алюминия (m) носит название кремнеземового модуля и может изменяться в очень широких пределах. Значение этого модуля определяет кристаллографический тип цеолита и многие его свойства. В адсорбции используют цеолиты с низким значением кремнеземового модуля. Оно определяет сравнительно высокую концентрацию ионов Na^+ , которые являются преимущественным местом сорбции в структуре цеолитов. На рисунке 2 представлена модель структуры одного из цеолитов – адсорбентов.

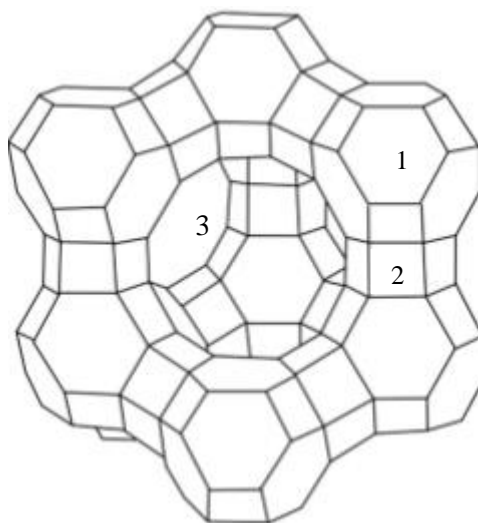


Рисунок 2 – Модель структуры цеолита типа X

Как видно из рисунка, цеолиты имеют жесткую упорядоченную трехмерную решетку. Ее образует чередование атомов алюминия и кремния, соединенных друг с другом кислородными мостиками. Главным структурообразующим элементом решетки являются кубооктаэдры 1, в вершинах которого расположены кремний или алюминий. Ребра кубооктаэдров и призм 2 – это условные изображения связей, соединяющих атомы отдельных кубооктаэдров. Составленная из кубооктаэдров решетка цеолита ажурна. В ней находятся полости 3,

которые в исходном цеолите заполнены водой. После нагрева цеолита и удаления воды полости освобождаются и становятся пригодными для адсорбции многих молекул.

В полостях и «окнах» цеолитов находятся положительно заряженные ионы натрия, которые компенсируют в целом отрицательный заряд решетки. Они обладают подвижностью и могут быть замещены ионами других металлов. Натрий и замещающие его ионы называют обменными катионами цеолита.

Диаметр полостей цеолитов и «окон», соединяющих полости, специфичны для цеолита каждого типа. (Они, следовательно, зависят от значения кремнеземового модуля). В цеолите типа X, модель структуры которого приведена на рисунке 2, полости и «окна» имеют диаметр соответственно 1,1 и 0,9 нм. Кристаллы цеолитов – типичные микропористые и, более того, однородно пористые адсорбенты – молекулярные сита.

Сырьем для получения натриевых цеолитов служат алюминат натрия, силикат- глыба и вода. Смесь компонентов гомогенизируют и выдерживают в автоклаве при температурах, близких к 100 °С. Из реакционной смеси с течением времени кристаллизуются и формируются кристаллы цеолита. Их отделяют от маточного раствора, смешивают со связующим (глиной) и формируют в гранулы размером от 1 до 5 мм. Гранулы прокаливают для придания глине прочностных свойств.

Зазоры между частицами глины и кристаллами цеолита образуют транспортные поры: мезо- и макро-. В технике получения и использования цеолитов по отношению к ним применяется специальный термин – вторичные поры. Первичными же считают микропоры, входящие в структуру самого цеолита. Вторичные поры, как правило, оказывают пренебрежимо малое влияние на адсорбционные, в том числе молекулярно-ситовые, свойства цеолитов. Центром сорбции в цеолитах, как уже говорилось, является ионы натрия и другие обменные катионы. Молекулы адсорбатов взаимодействуют с ним по неспецифическому механизму, если они аполярны, или смешанному неспецифическому –

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

специфическому, если они заряжены. В триаде этилен, этан, пропан проявляются оба вида взаимодействий: пропан адсорбируется лучше этана, потому что больше его молекулярный вес, а этилен адсорбируется лучше и этана, и даже пропана, потому что он имеет π -электроны, взаимодействующие с положительно заряженным ионом натрия. Ряд адсорбируемости будет таким: этан < пропан < этилен.

Кроме катион-электронного взаимодействия при адсорбции на цеолитах проявляются катион-дипольное и катион-квадрупольное взаимодействия. Первое из этих двух взаимодействий присуще, например, воде и цеолиты являются наилучшим веществом – осушителем. Квадрупольный момент в известном приближении можно рассматривать как элемент топографии поверхности молекул, который проявляется в наличии на участках поверхности электрических зарядов. Хорошим наглядным представлением о квадруполе дает наличие двух антипараллельных диполей в одной молекуле. Антипараллельными называют такие диполи, которые расположены друг рядом с другом и параллельно друг с другом, но на концах которых находятся разные заряды. (Диполи – вещества, обладающие дипольным моментом, не имеют момента квадрупольного). Квадрупольями являются молекулы диоксида углерода и азота и эти вещества, слабо адсорбирующиеся на всех других адсорбентах, цеолитами поглощаются как адсорбаты со средней адсорбируемостью.

Обычно цеолиты синтезируют в натриевой форме. Но натрий, как указывалось, в ходе ионного обмена может быть замещен на ион любого элемента первой и второй групп периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Замещение натрия другими ионами не приводит к изменению кристаллографического типа цеолита, но из-за различий в размерах и числе катионов происходит изменение молекулярно-ситовых свойств цеолитов. Цеолиты, таким образом, способны разделять смеси молекул по различиям в их массе, распределению зарядов и размерам [19].

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		24

Адсорбенты обычно используют в виде зернистого слоя. Самые важные его характеристики таковы: порозность, эквивалентный диаметр прохода, насыпная плотность.

Порозность (ϵ) – доля свободного объема в зернистом слое, величина безразмерная. Ее значение обычно составляет $\epsilon = 0,4 - 0,5$. Это очень устойчивая характеристика неподвижного зернистого слоя, значение которой не зависит от того, используется ли адсорбент, катализатор или инертный материал. Оно слабо зависит от формы гранул (частиц) и, если отношение диаметра аппарата в 20 раз и более превышает диаметр гранул, то не зависит от диаметра гранул и аппарата.

Единственная особенность зернистого слоя, которая оказывает сильное влияние на значение порозности, – это его моно- или, наоборот, полидисперсность. Порозность зернистого слоя, составленного из частиц разного размера, заметно ниже, чем слоя из одинаковых частиц. Она уменьшается из-за того, что мелкие частица располагаются в пространстве между частицами крупными.

Свежезагруженный слой адсорбента обычно состоит из одинаковых гранул. По мере эксплуатации гранулы истираются, дробятся. Слой становится полидисперсным: порозность уменьшается, а гидравлическое сопротивление аппарата возрастает. Иногда это служит главной причиной обновления адсорбента в аппарате.

Эквивалентный диаметр прохода ($d_e, м$) – линейная характеристика свободного объема, зависящая от диаметра образующих его гранул. Эквивалентный диаметр прохода определяет скорость потока в пространстве между гранулами.

Насыпная плотность ($\rho_{ад}, г/см^3$) – масса адсорбента в единице объема зернистого слоя. Из-за наличия пористости внутри гранул и порозности самого слоя насыпная плотность адсорбентов невелика и лежит в пределах от 0,4 до 0,7 г/см³. Насыпная плотность обязательно указывается в документах заводов – изготовителей адсорбентов, сопровождающих поставку [20].

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Характеристика исходного сырья и готовой продукции

Сырьём Амурского ГПЗ является углеводородный газ, поступающий с Якутского и Иркутского центров газодобычи по магистральному газопроводу «Сила Сибири».

Продукцией установки является осушенный и очищенный газ, соответствующий требованиям ГОСТ 34867-2022 «Газ природный, подготовленный к транспортированию по магистральным газопроводам. Технические условия»

В таблице 3 представлена характеристика сырьевого газа, поступающего на установку осушки и удаления ртути, а также характеристика готовой продукции.

Таблица 3 – Характеристика исходного сырья и готовой продукции

Наименование	Показатель качества	Значение
1	2	3
Сырьевой газ	Содержание водорода, % мол.	0,0700
	Содержание гелия, % мол.	0,4000
	Содержание азота, % мол.	7,3000
	Содержание двуокиси углерода, % мол.	0,1400
	Содержание метана, % мол.	85,1400
	Содержание этана, % мол.	4,6000
	Содержание пропана, % мол.	1,5600
	Содержание бутана, % мол.	0,5900
	Содержание пентана и выше, % мол.	0,1684
	Содержание воды, % мол.	0,0026
	Содержание механических примесей, г/м ³	0,0700
	Содержание соединений ртути, % мол.	0,0002
	Давление, МПа	7,5
	Температура, °С	От минус 5 до 35

					ВКР.377135.180301.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Шешера В.А.				Лит	Лист	Листов
Пров.	Охотникова Г.Г.				У	26	64
Н. Контр.	Родина Т.А.				<i>Расчет установки осушки природного газа</i>		
Зав. каф.	Гужель Ю.А.						

1	2	3
Осушенный и очищенный природный газ	Содержание водорода, % мол.	0,03 – 0,07
	Содержание гелия, % мол.	0,16 – 0,40
	Содержание азота, % мол.	6,58 – 7,3
	Содержание двуокиси углерода, % мол.	0,11 – 0,29
	Содержание метана, % мол.	85 – 86,2
	Содержание этана, % мол.	4,6 – 4,68
	Содержание пропана, % мол.	1,5 – 1,56
	Содержание бутана, % мол.	0,57 – 0,59
	Содержание пентана и выше, % мол.	0,1666 – 0,1788
	Содержание воды, % объемн.	0,0001
	Содержание соединений ртути, мкг/нм ³	0,01
	Давление, МПа	6,95
	Точка росы по влаге, °С	Минус 110

2.2 Описание технологической схемы установки адсорбционной осушки природного газа

Установка осушки предназначена для очистки сырьевого газа, поступающего из магистрального газопровода, от содержащихся в нем метанола и воды.

В блоке подогрева, рекуперации тепла и охлаждения регенерирующего газа производится подогрев газа регенерации до температуры регенерации с помощью огневого подогревателя, рекуперация тепла между горячим и холодными потоками прямого и обратного газа регенерации в рекуперативных подогревателях, а также охлаждение обратного газа регенерации с помощью воздушного холодильника и водяного холодильника, с последующим отделением водно-метановой смеси в сепараторе газа регенерации.

Установка работает непрерывно, круглогодично, круглосуточно.

Технологическая схема адсорбционной сушки природного газа представлена на рисунке 3.

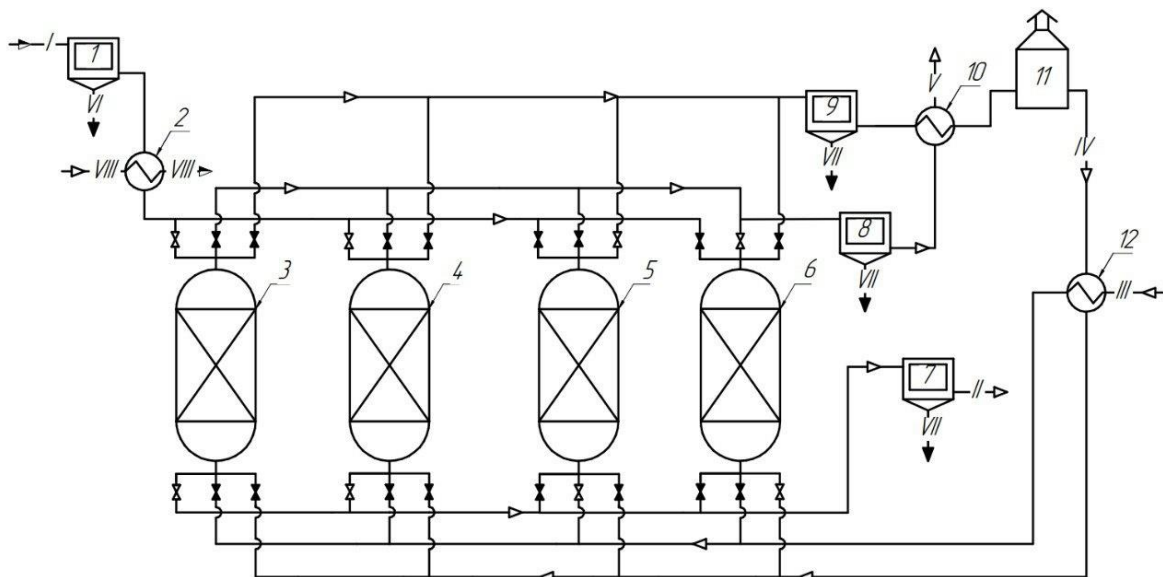


Рисунок 3 – Технологическая схема адсорбционной осушки газа:

1, 7, 8, 9 – фильтры-сепараторы; 2, 10, 12 – теплообменники; 3, 4, 5, 6 – адсорберы; 11 – печь. Поток: I – сырьевой газ; II – осушенный газ; III – прямой газ регенерации; IV – обратный газ регенерации; V – обратный газ регенерации к коллектору газа регенерации; VI – механические примеси; цеолитовая пыль; VII – цеолитовая пыль; VIII – пар низкого давления

Сырьевой газ поступает на установку под давлением 7,2 МПа с температурой от минус 5 °С до 25 °С. Пройдя через узел замера, сырьевой газ поступает в фильтр-сепаратор 1, в котором происходит очистка от механических примесей, представляющих собой, в основном, продукты коррозии трубопроводов. Помимо этого, происходит очищение сырьевого газа от капельной фазы воды и метанола.

После фильтров-сепараторов сырьевой газ поступает в подогреватель сырьевого газа 2. В подогревателе газ нагревается паром низкого давления только в том случае, если температура газа на входе в него составляет менее 15 °С.

Газ осушается в двух из четырех адсорберов, которые подключены параллельно и работают в режиме адсорбции. Третий адсорбер в это время работает в режиме регенерации адсорбента, а четвертый в режиме охлаждения.

Влага и метанол поглощаются из влажного сырьевого газа, последовательно проходя через три слоя адсорбента, включающих в себя активированный глинозем и молекулярные сита различных размеров.

При режимах адсорбции и охлаждения поток газа подается сверху-вниз, а при режиме регенерации – снизу-вверх.

Адсорбент, насыщенный водой и метанолом, регенерируют горячим газом регенерации. Каждый слой адсорбента, в свою очередь, регенерируется в течение 6 часов, затем охлаждается в течение 6 часов, после чего переходит снова в режим адсорбции.

Сухой газ из общего коллектора четырех адсорберов по трубопроводу поступает в фильтр-сепаратор осушенного газа 7, где очищается от цеолитной пыли, а затем направляется в блок очистки газа от соединений ртути, после чего газ поступает на установку выделения этана и ШФЛУ.

Десорбцию адсорбента, насыщенного водой и метанолом, проводится горячим газом регенерации. В печи огневого нагрева 11 прямой газ регенерации нагревается до температуры 280 °С. Огневой нагреватель газа регенерации представляет собой газовую печь с четырьмя продуктовыми змеевиками. Прямой газ регенерации после подогрева в печи становится обратным газом регенерации, который подается в адсорбер 6, работающий в режиме регенерации.

Обратный газ регенерации, пройдя через рекуперативный теплообменник 12 газа охлаждения, поступает в нижнюю часть адсорбера. Из верхней части адсорберов выходит обратный газ регенерации, который направляется в фильтр-сепаратор 8 для очистки от цеолитовой пыли. Затем охлаждается в теплообменнике 10, отдавая свое тепло прямому газу регенерации, и подается в общий коллектор обратного газа.

Прямой газ регенерации применяют для охлаждения адсорбента в адсорбере. Пройдя рекуперативный подогреватель 12, путем обмена теплом с газом регенерации газ охлаждения нагревается до 230 °С и далее поступает в адсор-

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

бер. Начальная температура1 газа охлаждения, подаваемого в адсорбер составляет 230 °С; затем происходит постепенное охлаждение газа, используемого для охлаждения адсорбента, до температуры 65 °С.

Исходные данные для расчёта адсорбционной установки осушки природного газа представлены в таблице 4.

2.3 Исходные данные для расчёта установки осушки природного газа

Таблица 4 – Исходные данные для расчёта

Показатель	Значение
Производительность установки, млрд м ³ /год	6
Расход осушаемого газа, м ³ /час	375000
Температура осушаемого газа, °С	20
Давление осушаемого газа, МПа	7,2
Средняя плотность адсорбента, кг/м ³	726
Средний диаметр гранул адсорбента, мм	4

Блок осушки газа включает четыре адсорбера осушки, в которых вода и метанол, содержащиеся в сырьевом газе, поглощаются из влажного сырьевого газа с помощью трех слоев адсорбента: молекулярные сита 3А, молекулярные сита 4А, активированный глинозем.

1.2 Расчёт процесса адсорбции

Расчёт процесса адсорбции ведём согласно методике [21].

1. Плотность газа при рабочих условиях вычисляется по формуле:

$$p_{p.y.} = p_g \cdot \frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T} \quad (1)$$

где p_g – плотность газа, поступающего на установку, при нормальных условиях ($p_g = 0,762$ кг/м³);

P – давление осушаемого газа, МПа;

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

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

T – температура газа поступающего на осушку, К.

$$\rho_{p.y.} = 0,762 \cdot \frac{7,2 \cdot 273}{0,1 \cdot 293} = 51,00 \text{ кг/м}^3$$

2. Максимально допустимая линейная скорость газа в адсорбере вычисляется по уравнению Леду:

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

где C – константа ($C = 0,025$);

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

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

g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

$\rho_{p.y.}$ – плотность газа при рабочих условиях, кг/м³.

$$U_{\Gamma} = \sqrt{78 \cdot 0,025 \cdot 726 \cdot 4 \cdot \frac{9,81}{51,00}} = 3,301 \text{ м/с} = 198,06 \text{ м/мин}$$

Принимаем рабочую линейную скорость $U_{\Gamma} = 198 \text{ м/мин}$.

2. Масса воды, удаляемая из газа за время цикла адсорбции, предполагая, что адсорбент поглощает всю влагу, поступающую в аппарат с влажным газом вычисляется по формуле:

$$G_{H_2O} = G_{\Gamma} \cdot W_{\Gamma} \cdot \tau_{ад}, \quad (3)$$

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

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

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

$$G_{H_2O} = 375000 \cdot 1,857 \cdot 10^{-3} \cdot 12 = 8357 \text{ кг.}$$

4. Внутренний диаметр адсорбера вычисляется по формуле

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		31

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot U_\Gamma}}, \quad (4)$$

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

5. объем газа, поступающего в адсорбер при рабочих условиях вычисляется по формуле:

$$V_p = V_\Gamma \cdot \frac{T \cdot P_0}{T_0 \cdot P} \cdot \frac{1}{60}, \quad (5)$$

где V_Γ – объем газа, поступающего в адсорбер, при н.у., м³/ч;

T – температура адсорбции, К;

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

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

P – давление в адсорбере, МПа;

$$V_p = 375000 \cdot \frac{293 \cdot 0,1}{273 \cdot 7,2} \cdot \frac{1}{60} = 93,16 \text{ м}^3/\text{мин},$$

Таким образом, внутренний диаметр адсорбера равен:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 93,16}{3,14 \cdot 187,5}} = 1,43 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр адсорбера равным 1,6 м.

6. Линейная скорость газа при рабочих условиях в свободном сечении вычисляется по формуле:

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

$$U_l = \frac{4 \cdot 93,16}{3,14 \cdot 1,6^2} = 46,36 \text{ м/мин}$$

Исходя из условий, если $U_l > U_\Gamma$, следует увеличить диаметр аппарата до

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

выполнения условия $U_1 \leq U_r$.

Так как $U_1 < U_r$ ($U_r = 198$ м/мин), оставляем прежний диаметр аппарата.

7. Удельная нагрузка слоя адсорбента по воде вычисляется по формуле:

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

где $G_{\text{ВОДЫ}}$ – масса воды, кг;

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

D – внутренний диаметр адсорбера, м.

$$g_B = \frac{8357}{0,785 \cdot 12 \cdot 1,6^2} = 346,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) = 11,55 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$$

8. Высоту адсорбционной зоны вычисляется по формуле:

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

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

p / p_s - относительная влажность осушаемого газа, % ($p / p_s = 80$ %).

$$h = 31,3 \cdot \frac{11,55^{0,7895}}{46,36^{0,5506} \cdot 80^{0,2647}} = 31,3 \cdot \frac{6,9}{8,27 \cdot 3,19} = 5,19 \text{ м.}$$

9. Высота слоя адсорбента вычисляется по формуле:

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

$$H = 5 \cdot 1,6 = 8 \text{ м.}$$

10. Динамическая равновесная влагоемкость адсорбента:

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

где A_p – равновесная влагоемкость адсорбента, определяемая по справочным данным ($A_p = 14$ %).

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$A_d = \frac{14 \cdot (8 - 0,45 \cdot 5,19)}{8} = 9,9 \% \quad (10)$$

11. Минимально необходимая высота слоя адсорбента вычисляется по формуле:

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

где G_{H_2O} – масса воды, кг;

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

D – внутренний диаметр адсорбера, м.

A_d – динамическая равновесная влагоемкость адсорбента, %.

$$h_{сл} = \frac{127,4 \cdot 8357}{726 \cdot 1,6^2 \cdot 9,9} = 58 \text{ м}$$

Так как $h_{сл} > H$ необходимо увеличить значение диаметра адсорбера в 2 раза и повторить расчет с 4-го пункта.

$$U_l = \frac{4 \cdot 93,16}{3,14 \cdot 3,2^2} = 11,6 \text{ м/мин}$$

$$g_B = \frac{8357}{0,785 \cdot 12 \cdot 3,2^2} = 86,63 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)} = 1,44 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{мин)}$$

$$h = 31,3 \cdot \frac{1,44^{0,7895}}{11,6^{0,5506} \cdot 80^{0,2647}} = 31,3 \cdot \frac{1,33}{3,86 \cdot 3,19} = 3,38 \text{ м.}$$

$$H = 5 \cdot 3,2 = 16 \text{ м.}$$

$$A_d = \frac{14 \cdot (16 - 0,45 \cdot 3,38)}{16} = 12,67 \%.$$

Исходя из конструктивных соображений, соотношение $H : D$ должно быть $3 \div 6$.

$16 \div 3,2 = 5$, поэтому принимаем диаметр адсорбера равным 3,2 м.

12. Продолжительность работы слоя адсорбента до появления влаги определяется согласно формуле:

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

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

где A_d – динамическая равновесная влагоемкость адсорбента, %;

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

$h_{сл}$ минимально необходимая высота слоя адсорбента, м;

g_B – удельная нагрузка слоя адсорбента по воде, кг/(ч·м²).

$$\tau_1 = \frac{0,01 \cdot 12,67 \cdot 726 \cdot 11,30}{86,63} = 12 \text{ ч}$$

Продолжительность работы слоя адсорбента до появления влаги равна продолжительности цикла адсорбции.

13. Гидравлическое сопротивление слоя адсорбента на стадии осушки:

$$\Delta P = \frac{2 \cdot f \cdot \rho_g \cdot H \cdot U_1^2}{g \cdot d_э \cdot \varepsilon^2}, \quad (13)$$

где f – коэффициент трения газа о слой адсорбента, определяемая как функция от числа Рейнольдса;

ρ_g – плотность газа, кг/м³;

H – высота слоя адсорбента, м;

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

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

$d_э$ – эквивалентный диаметр частиц, м;

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

14. Порозность адсорбента определяется по формуле:

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

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

V_k – объем куба, описанного вокруг шара, м³.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35

15. Объем шара вычисляется по формуле:

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

где d – диаметр частиц;

L – длина частиц адсорбента цилиндрической формы (по справочным данным составляет 0,004 м).

$$V_{ш} = \frac{3,14 \cdot 0,0033^2 \cdot 0,004}{4} = 3,42 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

16. Эквивалентный диаметр частиц:

$$d_3 = \left(\frac{6 \cdot V_{ш}}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (16)$$

где $V_{ш}$ – объем шара, м³.

$$d_3 = \left(\frac{6 \cdot 3,42 \cdot 10^{-8}}{3,14} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,004 \text{ м},$$

$$V_k = 0,004^3 = 6,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3,$$

Таким образом, порозность составляет

$$\varepsilon = \frac{3,42 \cdot 10^{-8}}{6,4 \cdot 10^{-8}} = 0,54.$$

17. Критерий Рейнольдса:

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

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

μ – динамическая вязкость газа, определяемая по формуле Фроста, Па·с;

$$\mu = T \cdot (6,6 - 2,25 \cdot \lg M) \cdot 10^{-8}, \quad (19)$$

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

где T – температура адсорбции, К;

M – средняя молекулярная масса газа, кг/кмоль;

$$p_{z(n.y.)} = \frac{M}{22,4}, \quad (20)$$

$$M = 22,4 \cdot 0,762 = 17,07 \text{ кг/кмоль}$$

$$\mu = 298 \cdot (6,6 - 2,25 \cdot \lg 17,07) = 1,12 \cdot 10^{-5}$$

$$Re = \frac{11,63 \cdot 0,004 \cdot 51,00}{1,12 \cdot 10^{-5} \cdot 0,526} = 402722,7$$

Коэффициент трения газа о слой адсорбента $f = 3$.

$$\Delta P = \frac{2 \cdot 3 \cdot 51,00 \cdot 16 \cdot 11,63^2}{9,81 \cdot 0,00403 \cdot 0,526^2} = 18213$$

Величина суммы перепада давления в слое адсорбента и произведения высоты слоя адсорбента на его насыпную плотность не должна быть выше предела прочности гранул на раздавливание.

$$\Delta P + H \text{ Место для уравнения. } P_{ад}, \quad (21)$$

$$18213 + 16 \cdot 727 = 29845 \text{ кг/м}^2 = 0,29845 \text{ кг/мм}^2$$

Предел прочности гранул на раздавливание составляет 1 кг/мм^2 , следовательно, за цикл адсорбции адсорбент не утратит свои механические свойства.

За время процесса адсорбции, которое составляет 12 часов, из потока сырьевого влажного газа удалилось 8357 кг воды. Высота адсорбера составила 16 м, при том, что высота слоя адсорбента 8 м, диаметр адсорбера равен 3,2 м.

1.3 Расчёт процесса регенерации адсорбента

Исходные данные для расчёта процесса регенерации представлены в таблице 5.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Таблица 5 – Исходные данные для расчёта

Показатель	Значение
Давление смеси, кг/см ²	62
Расход смеси, м ³ /час	50000
Максимальная температура газа регенерации на входе в адсорбер, °С	320
Максимальная температура газа регенерации на выходе из адсорбера, °С	300
Температура кипения воды при давлении 62 кг/см ² , °С	270
Удельная теплоёмкость воды, кДж/(кг · °С)	4,187
Удельная теплоёмкость цеолита, кДж/(кг · °С)	0,837
Теплота десорбции воды, кДж/кг	3256
Плотность газа регенерации, кг/м ³	0,759
Начальная температура адсорбента, °С	50
Масса пустого адсорбера, кг	19700
Масса слоя адсорбента, кг	52000

Расчёт ведём согласно методике, описанной в [22].

1. Общее количество тепла, необходимое на регенерацию адсорбента:

$$Q_P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_{II} , \quad (22)$$

где Q_1 – количество тепла, необходимое на нагрев адсорбера;

Q_2 – количество тепла, необходимое на нагрев адсорбента;

Q_3 – количество тепла, необходимое на нагревание адсорбированных компонентов;

Q_4 – количество тепла, необходимое на десорбцию компонентов;

Q_{II} – потери тепла.

2. Затраты тепла на нагревание:

$$Q_1 = m_a \cdot C_m \cdot (t_n - t), \quad (23)$$

где m_a – масса адсорбера, кг;

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

t_n – начальная температура регенерации, °С;

t – температура адсорбера перед началом регенерации, °С.

$$Q_1 = 197000 \cdot 0,5 \cdot (300 - 50) = 24625000 \text{ кДж}$$

3. Тепло, которое ушло на нагревание адсорбента:

$$Q_2 = m_{ц} \cdot C_{ц} \cdot (t_n - t), \quad (24)$$

где $m_{ц}$ – масса цеолита, кг;

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

$$Q_2 = 52000 \cdot 0,837 \cdot (300 - 50) = 10881000 \text{ кДж.}$$

4. Затраты тепла на нагревание адсорбированного компонента:

$$Q_3 = \sum (m_i \cdot C_i \cdot (t_k - t_n)), \quad (25)$$

где m_i – масса воды, содержащегося в порах адсорбента, кг;

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

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

t_n – начальная температура регенерации, °С;

5. Масса воды, которая может быть поглощена адсорбентом:

$$m_B = \frac{G_0 \cdot A_B}{\rho_{ад}}, \quad (26)$$

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

$$m_B = \frac{52000 \cdot 108}{725} = 7746,2 \text{ кг}$$

$$Q_3 = 7746,2 \cdot 4,187 \cdot (270 - 50) = 7135334,67 \text{ кДж}$$

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

6. Затраты тепла на десорбцию воды из пор адсорбента, кДж:

$$Q_4 = \sum (m_i \cdot H_i), \quad (27)$$

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

$$Q_4 = 7746,2 \cdot 3256 = 25221627,2 \text{ кДж}$$

7. Потери тепла составляют приблизительно 10 % от общей суммы затрат тепла:

$$Q_{II} = 0,1 \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4), \quad (28)$$

$$Q_{II} = 0,1 \cdot (24625000 + 10881000 + 7135334,67 + 25221627) = \\ = 6786296,17 \text{ кДж}$$

Теплота регенерации адсорбента составляет:

$$Q_p = 0,9 \cdot (24625000 + 10881000 + 7135334,67 + 25221627) = \\ = 61076665,5 \text{ кДж}$$

7. Определяем количество теплоты, поступающей с газом регенерации в адсорбер, которая численно равна расходу теплоты на регенерацию:

$$Q_G = Q_p, \quad (29)$$

$$Q_G = V_G \cdot \rho_G \cdot C_G \cdot t_{cp}, \quad (30)$$

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

V_G – объем газа регенерации, м³;

ρ_G – плотность газа, кг/м³;

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

$$t_{cp} = t_{HT} - \frac{t_{k1} + t_{k2}}{2}, \quad (31)$$

где t_{HT} – начальная температура регенерации;

t_{k1}, t_{k2} – температура газа, покидающего слой цеолита в начале и в конце

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

нагревания, °С;

$$t_{k1} = 50 \text{ °С}$$

$$t_{k2} = 2 \cdot t_{\min} - t_{HT} + 10, \quad (32)$$

$$t_{k2} = 2 \cdot 300 - 320 + 10,$$

$$t_{cp} = 320 - \frac{50 + 290}{2} = 150,$$

8. Объём газа регенерации вычисляется по формуле:

$$V_{\Gamma} = \frac{Q_{cp}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{\Gamma} \cdot t_{cp}}, \quad (33)$$

$$V_{\Gamma} = \frac{16965740,40}{0,759 \cdot 2,61 \cdot 150} = 57095 \text{ м}^3$$

9. Так как процесс регенерации составляет 6 часов, расход газа регенерации составляет:

$$G_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{6}, \quad (34)$$

$$G_{\Gamma} = \frac{57095}{6} = 9515,8 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Время регенерации составляет 6 часов. За это время необходимо затратить 61076665,5 кДж количества теплоты. Объём газа регенерации составил 57095 м³, а его расход 9515,8 м³/ч.

1.4 Расчёт вспомогательного оборудования

Основными аппаратами технологической установки осушки газа адсорбционным методом являются адсорберы.

Кроме этого, в состав установки входит вспомогательное оборудование в виде сепараторов, теплообменников и печи.

Исходные данные для технологического расчёта вспомогательного оборудования представлены в таблице 6.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

Таблица 6 – Исходные данные для технологического расчёта

Вспомогательное оборудование	Показатель	Значение
Сепаратор	Скорость газового потока, м/с	25
	Внутренний диаметр аппарата, м	1,5
	Плотность газа при н.у., кг/м ³	0,762
Теплообменник	Температура влажного газа на входе, °С	минус 5
	Температура влажного газа на выходе, °С	25
	Температура греющего пара, °С	200
	Внутренний диаметр труб, м	0,021
	Плотность газового потока, кг/м ³	0,759
	Скорость газового потока, м/с	0,75
	Массовый расход газового потока, кг/с	6,302
Печь	Тепловая мощность, кВт	8533
	Доля отгона сырья на выходе из змеевика трубчатой печи	0,38
	Температура среды на входе, °С	160
	Низшая теплота сгорания, кДж/кг	48780
	Температура среды газа на входе, °С	320
	Расчётное давление, МПа	8,34

1.4.1 Расчёт сепаратора

Природный газ, поступающий из общего коллектора природного газа, содержит помимо механических примесей, пары воды и водо-метанольную смесь, которые увеличивают абразивный износ газовых компрессоров при транспортировке газа по трубопроводу.

Для удаления механических примесей используются сепараторы различных конструкций.

Расчёт сепаратора ведём согласно методике представленной в [23].

Исходные данные для расчёта сепаратора представлены в таблице 3.

1. Критерий Рейнольдса для газового потока определяется по формуле:

$$Re = \frac{\omega \cdot D \cdot \rho}{\mu}, \quad (35)$$

где ω – скорость газового потока, м/с;

D – внутренний диаметр аппарата, м;

ρ – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³;

μ – вязкость газового потока, Па·с;

2. Вязкость газового потока определяется по формуле:

$$\mu = \frac{\sum V_i \cdot \mu_i}{100}, \quad (36)$$

где μ_i – динамическая вязкость i -го компонента газа, Па·с;

V_i – объемная концентрация i -го компонента газа.

Основные параметры компонентов газа для расчета представлены в таблице 7:

Таблица 7 – Основные параметры компонентов газового потока

Компонент	Объемная концентрация, в долях ед.	Молекулярная масса, кг/кмоль	Динамическая вязкость, кгс/м ² , · 10 ⁻⁷
Метан	0,8514	16,04	10,3
Водород	0,0007	2,00	8,45
Гелий	0,004	4,00	18,1
Кислород	0,0002	32,00	1,94
Азот	0,073	28,02	16,6
Диоксид углерода	0,025	44,01	13,8
Этан	0,046	30,07	7,5
Пропан	0,0156	44,09	6,9
Бутан	0,0059	58,12	6,9

3. Молекулярная масса всей газовой смеси рассчитывается по формуле:

$$M_{см} = \sum V_i \cdot m_i \quad (37)$$

где V_i – объемная концентрация i -го компонента газа;

m_i – молекулярная масса i -го компонента газа кг/кмоль.

$$M_{см} = 0,8514 \cdot 16,04 + 0,0007 \cdot 2 + 0,004 \cdot 4 + 0,0002 \cdot 32 + 0,073 \cdot 28,02 + \\ + 0,025 \cdot 44,01 + 0,046 \cdot 30,07 + 0,0156 \cdot 44,09 + 0,0059 \cdot 58,12 = 19,24 \text{ кг/кмоль}$$

4. Плотность газовой смеси:

$$\rho_{см} = \frac{M_{см}}{22,4} \quad (38)$$

$$\rho_{см} = \frac{19,24}{22,4} = 0,86 \text{ кг/м}^3$$

Далее находим относительную плотность по воздуху:

$$\Delta = \frac{\rho_{см}}{\rho_{возд}}, \quad (39)$$

где $\rho_{возд}$ – относительная плотность воздуха при стандартных условиях ($\rho_{возд} = 1,293 \text{ кг/м}^3$).

$$\Delta = \frac{0,86}{1,293} = 0,66$$

Таким образом,

$$\mu = (0,8514 \cdot 10,3 + 0,0007 \cdot 8,45 + 0,004 \cdot 18,1 + 0,0002 \cdot 1,94 + 0,073 \cdot 16,6 + \\ + 0,025 \cdot 13,8 + 0,046 \cdot 7,5 + 0,0156 \cdot 6,9 + 0,0059 \cdot 6,9) / 100 = 0,11 \cdot 10^{-7} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$Re = \frac{25 \cdot 1,5 \cdot 0,762}{0,11 \cdot 10^{-7}} = 2,6 \cdot 10^9$$

5. Определим относительную шероховатость стенок аппарата, учитывая, что абсолютная шероховатость равна $a = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$:

$$\frac{1}{e} = \frac{a}{D} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{1,5} = 6,67 \cdot 10^{-5}$$

Далее определяем следующие значения:

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{6,67 \cdot 10^{-5}} = 14992,5$$

$$10 \cdot \frac{1}{e} = 10 \cdot \frac{1}{6,67 \cdot 10^{-5}} = 149925$$

$$10 \cdot \frac{1}{e} = 10 \cdot \frac{1}{6,67 \cdot 10^{-5}} = 149925$$

Так как $Re > 560 \cdot \frac{560}{e}$, делаем вывод, что в сепараторе имеет место турбулентный режим движения газа. В таком случае, коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}, \quad (40)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot (6,67 \cdot 10^{-5})^{0,25} = 0,01$$

6. Определяем гидравлическое сопротивление сепаратора, Па:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L \cdot \omega^2 \cdot \rho}{D \cdot 2}, \quad (41)$$

где L – длина аппарата, м;

D – диаметр аппарата, м.

$$\Delta p = 0,01 \cdot \frac{3,2 \cdot 25^2 \cdot 0,762}{1,5 \cdot 2} = 61,12 \text{ МПа}$$

В соответствии с ГОСТ Р 52630-2012 принимаем газовый сепаратор марки ГС-2-8,0-1600-2 высотой 3800 мм, диаметром 1600 мм и массой не более 13150 кг.

1.4.2 Расчёт теплообменника

После фильтров-сепараторов сырьевой газ поступает в подогреватель сырьевых газа (теплообменник кожухотрубчатый).

Состав сырьевых газа перед подогревателем сырьевых газа контролируется центральной заводской лабораторией, один раз в смену. Давление и температура сырьевых газа перед подогревателем сырьевых газа контролируются по месту.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45

Исходные данные для расчёта теплообменника представлены выше в таблице 6.

Расчёт производим в соответствии с методикой, представленной в [25].

1. Средняя температура газовой смеси вычисляется по формуле:

$$t_{ср} = \frac{t_{Г(ВХ)} + t_{Г(ВЫХ)}}{2}, \quad (42)$$

где $t_{Г(ВХ)}$ – температура газа на входе в теплообменник, °С;

$t_{Г(ВЫХ)}$ – температура газа на выходе из теплообменника, °С.

$$t_{ср} = \frac{-5 + 15}{2} = 5 \text{ °С}$$

2. Находим тепловую нагрузку теплообменника по формуле:

$$Q = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2(ввых)} - t_{2(ввх)}) \cdot X, \quad (43)$$

где G_2 – массовый расход газовой смеси, кг/с;

X – коэффициент потерь тепла в окружающую среду ($X = 1,05$).

$$Q = 6,302 \cdot 2850 \cdot (15 - (-5)) \cdot 1,05 = 3,8 \cdot 10^5 \text{ Вт}$$

При давлении греющего пара 0,5 МПа принимаем удельную теплоту конденсации $r_{гр} = 2171 \cdot 10^3$ Дж/кг.

3. Расход пара вычисляют по формуле:

$$D = \frac{Q}{r}, \quad (44)$$

где Q – тепловая нагрузка теплообменника, Вт;

r – удельная теплота конденсации греющего пара, Дж/кг.

$$D = \frac{3,8 \cdot 10^5}{2171 \cdot 10^3} = 0,175 \text{ кг/с}$$

Рассмотрим противоточную схему движения потоков теплоносителей.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Греющий пар: 100 °C → 60 °C

Газовый поток: 15 °C ← минус 5 °C

Большая разность температур:

$$\Delta t_{\delta} = 100 - 15 = 85 \text{ °C}$$

Меньшая разность температур:

$$\Delta t_{\text{м}} = 60 - (-5) = 65 \text{ °C}$$

Отношение $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} < 2$, поэтому среднюю температуру газовой смеси оставляем прежней.

Средняя разность температур теплоносителей:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{85 + 65}{2} = 75 \text{ °C}$$

4. Площадь поверхности теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} \quad (45)$$

где Q – тепловая нагрузка теплообменника, Вт;

K – коэффициент теплопередачи ($K = 200 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$);

$\Delta t_{\text{ср}}$ – средняя разность температур теплоносителей, °C.

$$F = \frac{3,8 \cdot 10^5}{200 \cdot 75} = 25,3 \text{ м}^2$$

5. Объемный расход газовой смеси в аппарате:

$$V_{\text{г.см}} = \frac{G_{\text{г}}}{\rho_{\text{см}}} = \frac{6,302}{759} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для дальнейшего расчета выбираем стальные бесшовные трубы тепло-

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

обменника диаметром 25 x 2 мм.

6. Необходимое число труб в теплообменнике, которое обеспечивает необходимую скорость движения газового потока:

$$V_{z.см} = \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4} \cdot n \cdot v, \quad (46)$$

где $d_{вн}$ – внутренний диаметр труб, м;

n – количество труб;

v – скорость газового потока, м/с.

$$n = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d_{вн}^2 \cdot v}, \quad (47)$$

$$n = \frac{4 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,021^2 \cdot 0,75} = 14,9 = 15 \text{ штук}$$

Площади поверхности теплообмена $F = 25,3 \text{ м}^2$ и количеству труб в одном ходе $n = 15$. Согласно ГОСТ 15118 – 79 наиболее соответствует одноходовой теплообменник диаметром 400 мм и числом труб 100 штук, длиной теплообменных труб 3000 мм.

1.4.1 Расчёт печи

Трубчатые печи предназначены для огневого нагрева, испарения и перегрева жидких и газообразных сред, а также для проведения высокотемпературных термотехнологических и химических процессов. Они являются составной частью многих установок и представляют собой аппарат, предназначенный для передачи нагреваемому продукту тепла, выделяющегося при сжигании топлива непосредственно в этом же аппарате.

Расчёт печи ведем согласно методике представленной в [26].

Исходные данные для расчёта представлены выше в таблице 6.

Основные параметры топливного газа представлены в таблице 8.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

Таблица 8 – Основные параметры топливного газа.

Параметры топливного газа	Значения
Содержание сероводорода, г/м ³	0,07
Содержание меркаптанов, г/м ³	0,016
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	50000
Содержание кислорода, не более, % мол.	0,02
Содержание диоксида углерода, % мол.	2,5
Содержание механических примесей, г/м ³	0,001

Уравнение теплового баланса печи определяется по формуле:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}}, \quad (48)$$

Расчет теплового баланса печи далее ведём на 1 кг топлива.

1. Расход тепла:

$$Q_{\text{расх}} = q_{\text{пол}} + q_{\text{уход}} + q_{\text{пот}}, \quad (49)$$

где $q_{\text{пол}}$ – топливо, воспринятое сырьем в печи, кДж/кг;

$q_{\text{уход}}$ – топливо, теряемое с уходящими из печи дымовыми газами кДж/кг;

$q_{\text{пот}}$ – топливо, теряемое в окружающую среду, кДж/кг.

2. Приход тепла:

$$Q_{\text{прих}} = Q_p^H + C_m \cdot t_m + \alpha \cdot L_0 \cdot C_v \cdot t_v + W_{\text{ф}} \cdot C_{\text{ф.п.}} \cdot t_{\text{ф.п.}} \quad (50)$$

где Q_p^H – теплота сгорания топлива, кДж/кг;

C_m , C_v , $C_{\text{ф.п.}}$ – теплоемкости топлива, воздуха и форсуночного водяного пара соответственно, кДж/кг;

t_m , t_v , $t_{\text{ф.п.}}$ – температуры топлива, воздуха и форсуночного водяного пара соответственно, °С;

α – коэффициент избытка воздуха;

L_0 – теоретический массовый расход воздуха, кг/кг;

$W_{\text{ф}}$ – расход форсуночного пара, кг/кг.

Значения тепла топлива, воздуха и водяного пара обычно невелики, поэтому в дальнейшем расчете ими можно пренебречь.

Упростив уравнение прихода тепла, получим:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}} = Q_p^H \quad (51)$$

$$Q_{\text{прих}} = q_{\text{прих}} + q_{\text{ух}} + q_{\text{пот}} = Q_p^H$$

$$\text{или } Q_{\text{пол}} = Q_p^H - q_{\text{ух}} - q_{\text{пот}}$$

3. Коэффициент полезного действия печи находим по формуле:

$$\eta = \frac{q_{\text{пол}}}{Q_p^H} = 1 - \frac{q_{\text{ух}}}{Q_p^H} - \frac{q_{\text{пот}}}{Q_p^H} \quad (52)$$

Таким образом,

$$q_{\text{пот}} = Q_p^H \cdot 0,06 = 48780 \cdot 0,06 = 2926 \text{ кДж/кг.}$$

4. Найдем температуру уходящих дымовых газов равенством:

$$t_{\text{уход}} = t_1 + \Delta t, \quad (53)$$

где t_1 – температура нагреваемого сырья на входе в печь, °С;

Δt – разность температур на входе сырья в змеевик камеры конвекции и выходе радиантной зоны, °С.

$$t_{\text{уход}} = 160 + (320 - 160) = 320 \text{ °С.}$$

Определим потери тепла с уходящими газами при данной температуре:

$$q_{\text{уход}} = (T - 273) \cdot (m_{\text{CO}_2} \cdot C_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{S}} \cdot C_{\text{H}_2\text{S}} + m_{\text{O}_2} \cdot C_{\text{O}_2}) \quad (54)$$

где C_i – средние массовые теплоемкости продуктов сгорания, кДж/кг·К

$$q_{\text{уход}} = (593 - 273) \cdot (2,5 \cdot 0,7666 + 0,07 \cdot 1,9096 + 0,02 \cdot 0,95302) = \\ = 662,15 \text{ кДж/кг}$$

$$q_{\text{пол}} = 48780 - 3000 - 662,15 = 46337,85 \text{ кДж/кг}$$

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50

5. Определим к.п.д. печи:

$$\eta = 1 - \frac{2926}{48780} - 0,06 = 0,88$$

6. Полезная тепловая нагрузка печи определяется по формуле:

$$Q_{пол} = G \cdot [e \cdot q_{t_2}^n + (1 - e) \cdot q_{t_2}^c - q_{t_1}^c] \quad (55)$$

где G – производительность печи, кг/ч;

q^n, q^c, q^c – теплосодержания паровой и газовой фазы при температуре t_2 , газовой фазы (сырья) при температуре t_1 соответственно, кДж/кг;

e – доля отгона сырья на выходе из змеевика трубчатой печи. Теплосодержание паров сырья определяется по уравнению:

$$q_{t_2}^n = ((50,2 + 0,109 \cdot t + 0,00014 \cdot t^2) \cdot (3,992 - 0,9952 \cdot \rho^{20}) - 73,4) \cdot 4,1868 \quad (56)$$

где ρ^{20} – относительная плотность, для конденсированных паров 0,8.

$$q_{320}^n = ((50,2 + 0,109 \cdot 320 + 0,00014 \cdot 320^2 \cdot (3,992 - 0,9952 \cdot 0,8) - 73,4) \times 4,1868 = 1022,9 \text{ кДж/кг}$$

7. Рассчитаем теплосодержание сырья, поступающего в печь:

$$q_{t_1}^c = \frac{0,403 \cdot t + 0,000405 \cdot t^2}{\sqrt{0,9952 \cdot p_4^{20} + 0,00806}} \cdot 4,1868, \quad (57)$$

$$q_{320}^c = \frac{0,403 \cdot 320 + 0,000405 \cdot 320^2}{\sqrt{0,9952 \cdot 0,9 + 0,00806}} \cdot 4,1868 = 750,6 \text{ кДж/кг},$$

$$q_{160}^c = \frac{0,403 \cdot 160 + 0,000405 \cdot 160^2}{\sqrt{0,9952 \cdot 0,9 + 0,00806}} \cdot 4,1868 = 329,64 \text{ кДж/кг}.$$

8. Находим полезную тепловую нагрузку печи по формуле:

$$Q_{пол} = 23922 \cdot (0,38 \cdot 1022,9 + (1 - 0,38) \cdot 750,6 - 329,64) = 125,4 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч}$$

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

9. Определим полную тепловую нагрузку печи:

$$Q_{П} = \frac{Q_{пол}}{\eta} = \frac{125,4 \cdot 10^6}{0,84} = 142,5 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч} = 39,58 \text{ МВт}$$

10. Часовой расход топливного газа определяется по формуле:

$$V = \frac{Q_{пол}}{Q_{Н} \cdot \eta'} \quad (58)$$

$$V = \frac{125,4 \cdot 10^6}{50000 \cdot 0,84} = 2850 \text{ кг/ч}$$

В соответствии с каталогом принимаем к установке трубчатую печьпроизводительностью 8533 кВт ($7 \cdot 10^6$ ккал/ч) марки ББ1, которая имеет поверхность нагрева 90 м², длину 12 м, ширину 5 м и высоту 8 м [27].

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

3.1 Основные источники опасности при эксплуатации установки осушки природного газа

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

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

Учитывая свойства веществ, основными факторами опасности на производстве являются:

– возможность возгорания и взрыва горючих газов и паров легковоспламеняющихся жидкостей при аварийной разгерметизации оборудования и трубопроводов;

– возможность возгорания и взрыва горючих газов и паров легковоспламеняющихся жидкостей внутри оборудования при грубых нарушениях норм технологического режима;

– способность обращающихся продуктов накапливать статическое электричество, что может, в свою очередь, привести к воспламенению и взрыву как внутри оборудования, так и на открытых пространствах;

– возможность воздействия на обслуживающий персонал токсичных веществ при аварийной утечке из оборудования.

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

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

					ВКР.377135.180301.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Шешера В.А.			Лит	Лист	Листов
Пров.		Охотникова Г.Г.			У	53	64
Н. Контр.		Родина Т.А.			Расчет установки осушки природного газа		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.					
					АмГУ, ИКиИН, гр. 0107-об		

Вредные вещества могут поступать в организм через органы дыхания, желудочнокишечный тракт, поврежденную и неповрежденную кожу.

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

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

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

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

К обслуживающему персоналу установки относятся такие должности как:

- начальник установки;
- мастер установки;
- старший оператор;
- оператор.

Как правило, большей опасности подвержен оператор, так как именно он обслуживает установку в большей степени.

3.2 Средства и системы защиты при эксплуатации установки осушки природного газа

Установка должна быть укомплектована аварийным запасом изолирующих самоспасателей, медицинскими аптечками и шланговыми противогазами с комплектами масок, спасательных поясов и веревок для работы в загазованных зонах и при проведении ремонтных работ.

Все рабочие должны быть снабжены средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с ГОСТ 12.4.011 – 89.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

Средства индивидуальной защиты

Для снижения воздействия вредных факторов, предотвращения несчастных случаев, заболеваний и отравлений, связанных с производством, весь обслуживающий персонал обеспечивается средствами индивидуальной защиты согласно утвержденным нормам бесплатной выдачи сертифицированных специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, а также смывающими и обезвреживающими средствами.

Работники газоперерабатывающих производств обеспечиваются средствами индивидуальной защиты согласно Постановления Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 7 апреля 2004 г. № 43 Об утверждении норм бесплатной выдачи сертифицированных специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам.

Средства индивидуальной защиты – это спецодежда и специальные средства, которые сотрудники используют для снижения степени воздействия, предотвращения попадания и защиты от вредных и опасных производственных факторов, в том числе и загрязнения. Применяются в тех случаях, когда безопасность работ не может быть обеспечена конструкцией оборудования, организацией производственных процессов, архитектурно-планировочными решениями и средствами коллективной защиты.

Средства индивидуальной защиты подразделяются на три группы:

- специальная одежда и специальная обувь;
- технические средства;
- средства личной гигиены.

Специальная одежда и специальная обувь предназначены для защиты работающих от загрязнений, механического травмирования, избыточного тепла и холода, агрессивных жидкостей (комбинезоны, халаты, костюмы, сапоги, ботинки, валенки, косынки, кепи).

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

Технические средства индивидуальной защиты предназначены для защиты органов дыхания (маски, респираторы, противогазы), слуха (беруши, наушники, антифоны), зрения (очки, щитки, маски) от вибрации (виброзащитные рукавицы), от поражения электрическим током (диэлектрические перчатки, галоши, коврики), от механического травмирования (каска, страховочные пояса, рукавицы, перчатки) и других опасных и вредных факторов.

Средства личной гигиены предназначены для защиты кожи рук и лица от химических веществ и загрязнений (пасты, мази, моющие средства и пр.). Средства коллективной защиты (СКЗ) – это средства, используемые для предотвращения или уменьшения воздействия на работников вредных и опасных производственных факторов, а также для защиты от загрязнения.

Средств коллективной защиты

В зависимости от назначения средства коллективной защиты подразделяют на классы:

– средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест (от повышенного или пониженного барометрического давления и его резкого изменения, повышенной или пониженной влажности воздуха, повышенной или пониженной ионизации воздуха, повышенной или пониженной концентрации кислорода в воздухе, повышенной концентрации вредных аэрозолей в воздухе);

– средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест (пониженной яркости, отсутствия или недостатка естественного света, пониженной видимости, дискомфортной или слепящей блескости, повышенной пульсации светового потока, пониженного индекса цветопередачи);

– средства защиты от повышенного уровня ионизирующих излучений;

– средства защиты от повышенного уровня инфракрасных излучений;

– средства защиты от повышенного или пониженного уровня ультрафиолетовых излучений;

– средства защиты от повышенного уровня электромагнитных излучений;

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56

- средства защиты от повышенной напряженности магнитных и электрических полей;
- средства защиты от повышенного уровня лазерного излучения;
- средства защиты от повышенного уровня шума;
- средства защиты от повышенного уровня вибрации (общей и локальной);
- средства защиты от повышенного уровня ультразвука;
- средства защиты от повышенного уровня инфразвуковых колебаний;
- средства защиты от поражения электрическим током;
- средства защиты от повышенного уровня статического электричества;
- средства защиты от повышенных или пониженных температур поверхностей оборудования, материалов, заготовок;
- средства защиты от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов;
- средства защиты от воздействия механических факторов (движущихся машин и механизмов; подвижных частей производственного оборудования и инструментов; перемещающихся изделий, заготовок, материалов; нарушения целостности конструкций; обрушивающихся горных пород; сыпучих материалов; падающих с высоты предметов; острых кромок и шероховатостей поверхностей заготовок, инструментов и оборудования; острых углов) [27];
- средства защиты от воздействия химических факторов;
- средства защиты от воздействия биологических факторов;
- средства защиты от падения с высоты.

Пожарная безопасность

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования», находящиеся в установке осушки сырьевой газ, осушенный газ и газ регенерации, содержат горючие и взрывоопасные компоненты метана, этана, пропана и т.д. Эти газообразные углеводороды могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси, которые могут привести к взрывопожарной опасности.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

Все части установки соединены технологическими трубопроводами и образуют единый объём. Любые работы которые могут привести к разгерметизации, являются нарушением системы безопасности и могут привести к взрыву производственного оборудования, сырья и продукции, инцидентам возгорания и отравления сотрудников.

Требования к пожарной безопасности, которых должны придерживаться операторы и обслуживающий персонал:

1) Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

2) Объекты должны иметь системы пожарной безопасности, направленные на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара, в том числе их вторичных проявлений, на требуемом уровне.

3) В качестве средств пожаротушения рекомендуется применять пар, воду, углекислый газ, песок, химические порошки в соответствии с технологическими требованиями. Запрещается использование противопожарного оборудования для иных целей [29].

4) Не допускается загромождение различным оборудованием и машинами дорог, проездов, лестничных клеток и коридоров, ведущим к первичным средствам пожаротушения и связи.

5) Курение разрешается только в специально отведенных и оборудованных помещениях.

Электробезопасность

Согласно ГОСТ 12.2.007.0-75 «Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», электрооборудование на установке должно отвечать требованиям:

1) Все части технологического оборудования, которые поводят статическое электричество, необходимо заземлить.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

2) Электрическая схема изделия должна исключать возможность его самопроизвольного включения и отключения.

3) Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения:

4) Предусмотреть молниезащиту сооружений в соответствии с «Инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций».

5) При автоматическом режиме работы изделия кнопки для наладки и органы ручного управления, кроме органов аварийного отключения, должны быть отключены [30].

3.3 Воздействие на окружающую среду при эксплуатации установки осушки природного газа

В связи с необходимостью охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов ряд процессов, в том числе и осушка углеводородных газов ранее считавшихся безвредными, оказались источниками вредных выбросов, загрязняющих атмосферу и сточные воды.

В процессе осушки газа на нефтегазоперерабатывающих заводах, газовых промыслах и подземных хранилищах из газа извлекаются влага, тяжелые углеводороды, сероводород, метанол, меркаптаны и другие вещества, которые после десорбции поступают в атмосферу, загрязняя окружающую среду.

Безусловно, выброс таких газов с установок осушки отравляет атмосферу не только на территории самой установки, но и окружающую среду.

В тех случаях, когда утилизация относительно небольших количеств газов не целесообразна, их можно сжигать на специальном факеле или смешивать с топливным газом, поступающим на соответствующие нужды установки.

Последствия от выбросов токсичных веществ в атмосферу могут быть такими как:

- ухудшение здоровья населения;
- затраты на ремонт зданий в связи с коррозией крыш и прочих металлических предметов, затраты на бытовое обслуживание;
- потери ценного сырья с выбросами;

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

– гибель зеленых насаждений и снижение продуктивности животноводства, снижение прироста и усыхание древесины, затраты на восстановление леса.

Среди приборов, необходимых для контроля за производственными выбросами, следует выделить газоанализаторы. В зависимости от модификации они могут измерять концентрации от 3 до 6 газов. Это - оксиды серы, азота, углерода, кислород, сероводород.

Использование дополнительной комплектации (газозаборные зонды, устройства пробоподготовки) расширяет область их применения. Специальное программное обеспечение позволяет дополнительно производить расчет ряда теплотехнических характеристик, необходимых для оптимизации производственного процесса - определение эффективности сгорания топлива, коэффициент избытка воздуха.

В сточных водах установок осушки также содержатся токсичные вещества. Для отделения газоконденсата из сточных вод установок осушки, необходимо иметь достаточный объем емкости орошения десорбера и создать систему сбора, хранения и сбыта газоконденсата.

Для выделения метанола при наличии значительного его количества в сточных водах целесообразно использование блока регенерации метанола с огневым подогревом, который позволяет получить метанол концентрации более 80 %.

					<i>ВКР.377135.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		60

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все газы, транспортируемые по магистральным газопроводам, подвергаются обязательной осушке – процессу удаления водяных паров из природных и промышленных газов.

При повышенном давлении и низкой температуре газообразные углеводороды могут формировать твердые кристаллические вещества в виде газовых гидратов, когда взаимодействуют с водой. Образование этих гидратов приводит к засорению проходов трубопроводов и оборудования. Наличие сернистых соединений в газе в сочетании с влагой может создать условия для коррозии металлических поверхностей. Коррозия способствует преждевременному износу и разрушению оборудования и трубопроводов на газоперерабатывающих предприятиях.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы изучен процесс осушки газа различными методами. Для реализации поставленных цели и задач, была собрана и проанализирована научная и дополнительная литература, содержащая данные по процессам осушки газа.

Изучена установка осушки газа. Представлена характеристика основных параметров сырья и готовой продукции. Изучены устройства основных аппаратов и вспомогательного оборудования, их назначение и принцип действия. Выполнен технологический расчёт основного и вспомогательного оборудования.

Представлено описание и характеристика средств и систем защиты при эксплуатации установки осушки газа, а именно: коллективные и индивидуальные средства защиты.

Составлена технологическая схема установки адсорбционной осушки природного газа.

Таким образом, цель и задачи бакалаврской работы полностью реализованы.

					ВКР.377135.180301.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Шешера В.А.			Лит	Лист	Листов
Пров.		Охотникова Г.Г.			У	61	64
Н. Контр.		Родина Т.А.			АмГУ, ИКиИН, гр. 0107-об		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.					
<i>Расчет установки осушки природного газа</i>							

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

2 Чуракаев, А. М. Газоперерабатывающие заводы. Технологические процессы и установки / А. М. Чуракаев. – М. : Химия, 1971. – 236 с.

3 Шумский, Н. М Основные способы осушки газа / Н.М. Шумский, О. Б. Грынин, К. А. Шумская // Молодой ученый. – 2019 – № 24. – С. 158-159 с.

4 Кемпбел, Д. М. Очистка и переработка природных газов / под ред. С. Ф. Гудкова. – М. : Недра, 1977. – 349 с.

5 Волков, М. М. Справочник работника газовой промышленности / М. М. Волков, А. Л. Михеев, К. А. Конев. – М. : Недра, 1989. – 144 с.

6 Осинина, О. Г. Определение физико-химических и тепловых характеристик нефтепродуктов, углеводородов и некоторых газов / О. Г. Осинина. – М. : Химия, 1986. – 156 с.

7 Шестерикова, Р. Е. Инновационная технология осушки природных и нефтяных газов / Р. Е. Шестерикова // Международный научный журнал. – 2017. – № 12 . – С. 50-54.

8 Островский Г. М. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. II. / Г. М. Островский, Р. Ш. Абиев, В. М. Александров. – СПб.: НПО Профессионал, 2006. – 916 с.

9 Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 753 с.

10 Гельперин, Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н. И. Гельперин. – М. : Химия, 1981. – 812 с.

					ВКР.377135.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Шешера В.А.			<i>Расчет установки осушки природного газа</i>	Лит	Лист	Листов
Пров.		Охотникова Г.Г.				У	62	64
Н. Контр.		Родина Т.А.				<i>АмГУ, ИКиИН, гр. 0107-об</i>		
Зав. каф.		Гужель Ю.А.						

11 Колокольцев, С. Н. Совершенствование технологий подготовки и переработки углеводородных газов. Монография / С. Н. Колокольцев. – М. : ЛЕНАНД, 2015. – 600 с

12 Жданов, Н. В. Осушка углеводородных газов / Н. В. Жданов, А. Л. Халиф. – М. : Химия, 1984. – 192 с.

13 Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов. / А. И. Скобло [и др.] – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000. – 677 с.

14 Таранова, Л. В. Оборудование подготовки и переработки нефти и газа : учебное пособие / Л. В. Таранова, А. Г. Мозырев. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2014. – 236 с.

15 Гафарова, Э. Б. Сравнительный анализ основных показателей процесса адсорбционной осушки при производстве сжиженного природного газа / Э. Б. Гафарова // Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ. – Москва, 2022. – Вып. 2. – С. 31-41.

16 Лapidус, А. Л. Газохимия / А. Л. Лapidус, И. А. Голубева, Ф. Г. Жагфаров. – М. : Издательский центр РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2013. – 407 с.

17 Романков, П. Г. Непрерывная адсорбция паров и газов / П. Г. Романков, В. Н. Лепилин. – Ленинград : Химия, 1968. – 227 с

18 Аджиев, А.Ю. Отечественные цеолиты для глубокой осушки газа при производстве сжиженного природного газа / А.Ю. Аджиев, Н.П. Морева, Н.Н. Долинская // Нефтегазохимия. 2015.С. 34-38.

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

20 Гафарова, Э. Б., Мельников, В. Б., Макарова, Н. П., Федорова Е. Б. Исследование регенерации цеолитсодержащих адсорбентов // Нефтепромысловое дело. 2021. – № 7 (631). – С. 34-38.

					ВКР.377135.180301.ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

21 Судаков, Е. Н. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: справочник / Е. Н. Судаков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1979. – 568 с.

22 Липин, А. Г. Расчёт адсорбционных установок: учебное пособие / А. Г. Липин, А. А. Липин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 2014. – 60 с.

23 Хожиева, Р. Б. Подбор основного и вспомогательного оборудования для осушки газов / Р. Б. Хожиева. – М. : Недра, 2006. – 528 с.

24 Снарев, А. И. Расчёты машин и оборудования для добычи нефти и газа: учебное пособие / А. И. Снарев. – М. : Недра, 2010. – 323 с.

25 Леонтьев, А. П. Прочностные расчеты отдельных элементов технологического оборудования: учебное пособие / А. П. Леонтьев, А. Г. Мозырев, А. Н. Гребнев. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2012. – 144 с.

26 Липин, А. Г. Расчёт трубчатых печей: учебное пособие / А. Г. Липин, А. А. Липин, 2019. – 80 с.

27 Бакшалов, В. Е. Трубчатые печи: каталог / В. Е. Бакшалов, В. Ф. Дребенцов. – М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1985. – 34 с.

28 ГОСТ 12.4.011 – 89. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. М. : Изд-во стандартов, 1990. – 8 с.

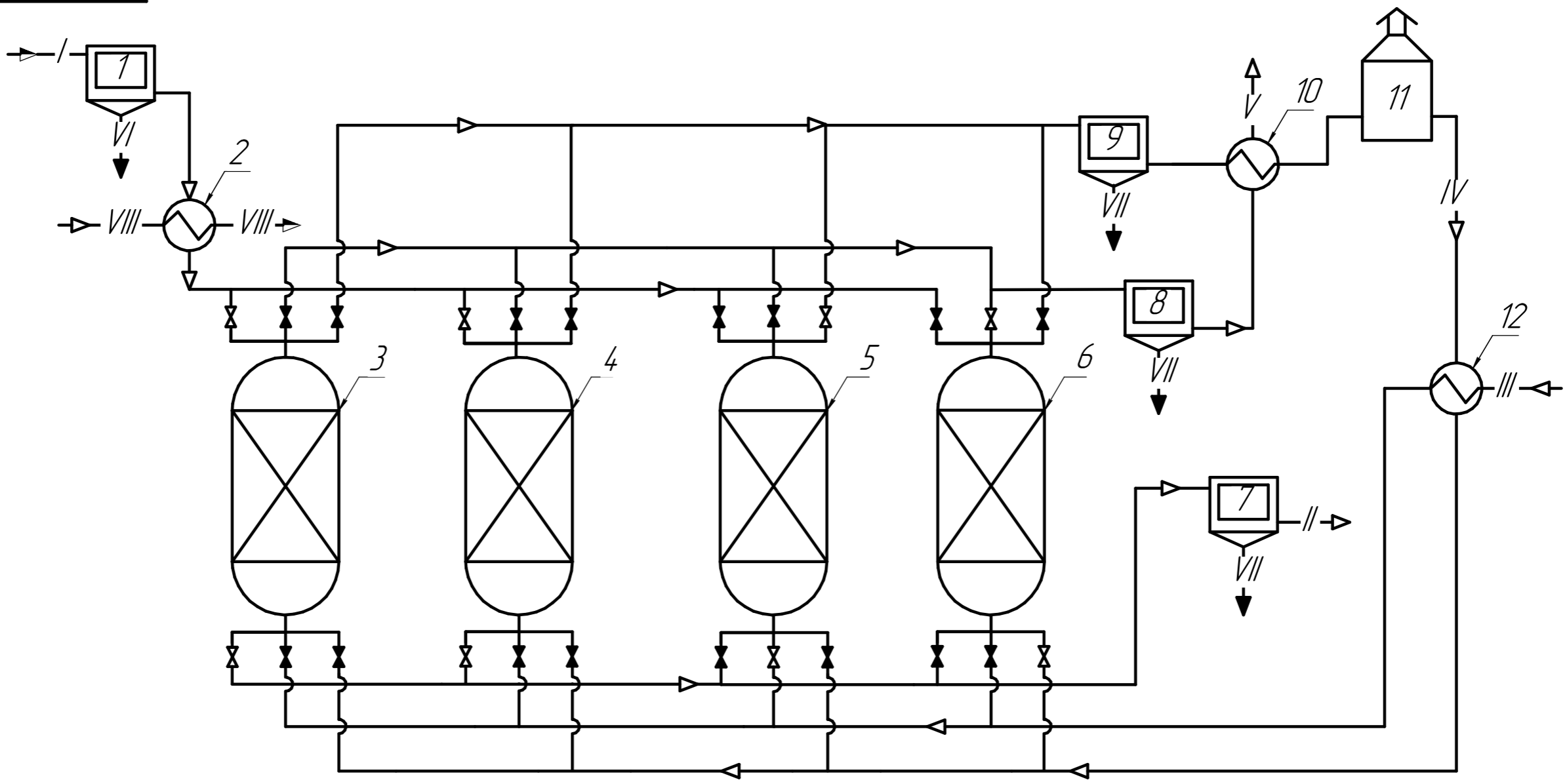
29 ПБ 09-530-03. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. – М : ПИО ОБТ, 2003. – 57 с.

30 Приказ №6. Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей. – введ. – 2003-01-13. – Минэнерго России. – М: Министерство юстиций России. – 2003. – 209 с

					ВКР.377135.180301.ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВКР.377135.180301.ТС

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.



Потоки	Наименование
I	Сырьевой газ
II	Осушенный газ
III	Прямой газ регенерации
IV	Обратный газ регенерации
V	Обратный газ регенерации к коллектору газа регенерации
VI	Механические примеси
VII	Цеолитовая пыль
VIII	Пар низкого давления

Название	Наименование	Количество
1,7,8,9	Фильтры-сепараторы	4
2,10,12	Теплообменник	3
3,4,5,6	Адсорбер	4
11	Печь	1

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Шешера В.А		
Проб.		Охотникова Г.Г.		
Т.контр.				
Н.контр.		Родина Т.А.		
Утв.		Гужель Ю.А.		

ВКР.377135.180301.ТС

Расчет установки осушки природного газа

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 1	Листов 1	

Технологическая схема адсорбционной осушки природного газа

АМГУ ИКИИИ
0107-об гр.

Копировал
Формат А3