

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО-
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**

Факультет «Химическая - технология»

Кафедра «Технология нефтехимической промышленности»

Допускается к защите

Декан факультета «ХТ»
доц. Атауллаев Ш.Н. _____
Регистрационный номер № ____
«__» _____ 2016 год

и.о. Заведующей кафедры «ТНХП»
доц. Бозоров Г.Р. _____
«__» _____ 2016 год

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

**Тема: Адсорбционная очистка природного газа от сернистых
соединений и технико-экономические показатели
цеолитового способа очистки природного газа**

ВЫПОЛНИЛ:

**студент группы 1-12НГКСТ
Холов Рустам Валерьевич**

**РУКОВОДИТЕЛЬ:
КОНСУЛЬТАНТ:**

**Муродов М.Н.
Цуканов М.Н.**

День защиты _____
Протокол ГАК _____
Оценка ГАК _____
Секретарь ГАК _____

БУХАРА 2016

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО-СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Кафедра: «Технология нефтегазохимической промышленности»

Выпускная квалификационная дипломная работа

Студента группы 1-12 НГКСТ Холова Рустама Валерьевича

Тема: Адсорбционная очистка природного газа от сернистых соединений и технико-экономические показатели цеолитового способа очистки природного газа

ВВЕДЕНИЕ.

1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

- 1.1. Теоретические основы адсорбционных методов очистки
- 1.2. Классификация процесса, основные определения
- 1.3. Основные промышленные адсорбенты и их свойства
- 1.4. Химическая адсорбция

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

- 2.1. Оборудование, реализующее процесс адсорбции
- 2.2. Процесс десорбции при Адсорбции
- 2.3. Адсорбция с неподвижным слоем адсорбента
- 2.4. Описание лабораторной установки адсорбционной очистки газа от кислых примесей цеолитами

3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

- 3.1. Расчет адсорбера и адсорбционной установки очистки газов от кислых компонентов

4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

- 4.1. Охрана труда.
- 4.2. Охрана окружающей среды.
- 4.3. Требования по технике безопасности

5. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

- 5.1 Схема адсорбционной установки с двумя адсорберами:
- 5.2 Адсорбер с движущимся слоем адсорбента для разделения газов
- 5.3 Детализированный чертёж адсорбера
- 5.4 Адсорбер радиального типа с неподвижным слоем адсорбента

Декан факультета «ХТ»:

Заведующий

кафедрой «ТНХП»:

Заведующая кафедрой

«Иностранных языков»

Руководитель:

Выпускник:

доц. Ш.Н. Атауллаев

к.т.н. Бозоров Г.Р.

Кувондикова Х.Б.

Цуканов М.Н.

Холов Р. В.

ВВЕДЕНИЕ

1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

- 1.1. Теоретические основы адсорбционных методов очистки.....
- 1.2. Классификация процесса, основные определения.....
- 1.3. Основные промышленные адсорбенты и их свойства.....
- 1.4. Химическая адсорбция.....

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

- 2.1. Оборудование, реализующее процесс адсорбции.....
- 2.2. Схема первичной перегонки нефти.....
- 2.3. Адсорбция с неподвижным слоем адсорбента.....
- 2.4. Описание лабораторной установки адсорбционной очистки газа от кислых примесей цеолитами.....

3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.

- 3.1. Расчет адсорбера и адсорбционной установки очистки газов от кислых компонентов.....

4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

- 4.1. Охрана труда.....
- 4.2. Охрана окружающей среды.....
- 4.3. Требования по технике безопасности.....

5. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ВЫВОДЫ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР.

Введение.

Доклад Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на расширенном заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2015 году и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2016 год.

В повестке дня расширенного заседания Кабинета Министров – итоги экономического и социального развития страны за истекший 2015 год и утверждение важнейших приоритетов развития экономики страны на 2016 год.

Анализируя поступательное продвижение страны по пути демократических преобразований и устойчивого развития, мы имеем все основания заявить о том, что в истекшем году сделаны решительные шаги в осуществлении принципиально важных реформ, направленных на достижение нашей главной цели – выйти на уровень развитых демократических государств мира с сильной социально ориентированной экономикой, обеспечивающей достойный уровень и качество жизни наших людей.

Речь, прежде всего, идет о реализации всесторонне продуманной Программы, направленной на обеспечение глубоких структурных преобразований, надежной защиты интересов частного предпринимательства и малого бизнеса и, что принципиально важно, – в законодательном, нормативно- правовом и практическом, как это предусмотрено в нашей Конституции, обеспечении приоритетной роли частной собственности, поступательного сокращения присутствия государства в экономике Узбекистана.

Признано целесообразным на этом этапе нашего развития под прямым управлением государства сохранить только предприятия, осуществляющие добычу и переработку углеводородного сырья, драгоценных и цветных металлов, урана, а также стратегические инфраструктурные отрасли естественных монополий – железные и автомобильные дороги, авиационные

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

перевозки, генерирование электроэнергии, электрические и коммунальные сети.

Была поставлена задача и созданы условия для массовой продажи государственных активов, в первую очередь иностранным инвесторам. Так, по «нулевой» выкупной стоимости было реализовано на конкурсной основе новым инвесторам 506 имущественных комплексов с принятием инвесторами инвестиционных обязательств в размере около 1 триллиона сумов и 40 миллионов долларов США, а также созданием около 22 тысяч новых рабочих мест.

Среди введенных в строй объектов особо хотел бы отметить построенный совместно с южнокорейскими инвесторами и специалистами Устюртский газохимический комплекс на базе месторождения Сургиль. Этот комплекс стоимостью свыше 4 миллиардов долларов является одним из самых современных высокотехнологичных и крупных производств в мире. Его ввод в эксплуатацию позволит получать ежегодно 83 тысячи тонн полипропилена, который до этого импортировался в республику, увеличить объем производства полиэтилена в 3,1 раза, трудоустроить более 1 тысячи высококвалифицированных специалистов.

Определяя основные приоритеты социально-экономического развития нашей страны на 2016 год, мы не можем не учитывать серьезные проблемы, возникающие в связи с продолжающимся глобальным кризисом, резким сокращением спроса, неопределенностью и существенно возросшей жесткой конкуренцией на мировых рынках, падением темпов роста производства и всеми вытекающими отсюда последствиями, коснувшимися большинства государств в мире.

В этой связи непростые проблемы, стоящие перед нами в 2016 году, диктуют необходимость полного отказа от изживших себя методов инерционного прогнозирования от достигнутого уровня, полагаясь на средние показатели развития.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

Главным ориентиром для нас должно быть непрерывное технологическое и техническое обновление производства, а также постоянный поиск внутренних резервов, осуществление глубоких структурных преобразований в экономике, модернизации и диверсификации промышленности.

Иначе говоря, само время требует перейти на последовательные 3-4-стадийные циклы переработки сырья в востребованную на мировом рынке продукцию по схеме: базовое сырье – первичная переработка (полуфабрикаты) – готовые материалы для промышленного производства – готовая продукция для конечного потребления.

При этом возникает необходимость при разработке и реализации программ проследить полный цикл глубокой переработки по каждому виду первичного сырья – полуфабриката вплоть до готовой продукции конечного потребления.

Словом, нужно обеспечить прогнозирование всего цикла организации производства – от сырья до готовой продукции с обоснованием целесообразности и окупаемости затрат.

Как показывают расчеты, в результате выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью объемы производства нефтегазохимической продукции могут быть увеличены с освоением новых ее видов к 2030 году в 3,2 раза, изделий из цветных металлов – в 2,2 раза, из черных металлов – в 2,3 раза, продукции химической промышленности, включая минеральные удобрения, – в 3,2 раза.

Наряду с этим рост производства современной готовой продукции с высокой добавленной стоимостью, востребованной на внешних рынках, станет основой устойчиво высоких темпов роста ее экспорта.

Надо сказать, что эта работа в стране уже начата. Однако она требует кардинально нового программного комплексного подхода, с тем чтобы по каждому перспективному виду сырья и полуфабрикатов, обладающих

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

высоким потенциалом, иметь конкретную программу глубокой переработки, рассчитанную на 2020, 2025, 2030 годы.

У нас сегодня есть все основания, исходя из глубокого анализа тенденций развития мировой экономики, реальной оценки наших ресурсов и возможностей, поставить перед собой целевую задачу – не менее чем в 2 раза увеличить к 2030 году объем валового внутреннего продукта нашей страны.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

1. Техническая часть

1.1. Теоретические основы адсорбционных методов очистки

Адсорбционные методы очистки газов основаны на селективном извлечении кислых компонентов твердыми поглотителями – адсорбентами. В том случае, когда извлекаемый компонент удерживается адсорбентом только физическими силами, имеет место *физическая адсорбция*. Если извлекаемый компонент вступает с адсорбентом в химическое взаимодействие говорят о *химической адсорбции*.

Эффективные адсорбенты диоксида углерода — *цеолиты*. Молекулы диоксида углерода довольно малы. Их диаметр составляет около 0,31 нм (3,1 Å), что позволяет им проникать во внутреннюю структуру большинства цеолитов. Наиболее часто для адсорбции используют цеолит СаА. Вместе с диоксидом углерода цеолиты поглощают и пары воды. Поэтому одновременно с очисткой газов от диоксида углерода происходит их осушка. Десорбцию поглощенных компонентов осуществляют понижением давления и повышением температуры.

Адсорбционные методы очистки

Методы очистки газов от сероводорода с использованием твердых сорбентов могут быть классифицированы на основании физико-химических процессов, происходящих при сорбции сернистых соединений:

- адсорбционные методы (физическая адсорбция);
- хемосорбционные методы (образование устойчивых химических соединений сероводорода с сорбентом).

Физическая адсорбция

Метод основан на способности некоторых твердых тел избирательно поглощать газообразные компоненты из газовых смесей. Присутствующие в газовой смеси молекулы загрязненного газа или пара собираются на поверхности или в порах твердого материала. Поглощаемое из газовой фазы вещество - называется адсорбтивом, а твердое вещество, на поверхности или порах которого происходит адсорбция поглощаемого вещества – адсорбентом. Газовая фаза, в которой находится извлекаемый компонент – газ – носитель, а после того, как извлеченный компонент перешел в адсорбированное состояние, его называют адсорбатом.

Применяют в этом случае:

- когда другие методы оказываются неэффективны;
- концентрация загрязняющих веществ очень мала и требуется гарантированная рекуперация извлекаемой примеси из-за ее значительной стоимости или опасности. Методом адсорбции из отходящих газов удаляют SO₂, углеводороды, хлор, сероводород, сероуглерод, и другие.

Явление адсорбции обусловлено наличием сил притяжения между молекулами адсорбента и адсорбтива на границе раздела соприкасающихся

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

фаз. Переход молекул загрязняющих веществ из газа – носителя на поверхностный слой адсорбента происходит в том случае, если силы притяжения адсорбента больше сил притяжения действующих на адсорбтив со стороны молекул газа – носителя. Молекулы адсорбированного вещества, переходя на поверхность адсорбента, уменьшают его энергию, в результате чего происходит выделение теплоты, примерно 60 кДж/моль (небольшая). Силы притяжения имеют разную - физическую или химическую и, следовательно, различают:

Физическую адсорбцию – при которой взаимодействия молекул загрязняющих веществ с поверхностью адсорбента определяется слабыми дисперсными, индукционными силами (силы Ван – дер – Вальса). При этом адсорбированные молекулы не вступают в химическое взаимодействие с молекулами адсорбента и сохраняют свою индивидуальность.

Для физической адсорбции характерна высокая скорость процесса, малая прочность связи и малая теплота. С повышением температуры количество физически адсорбированного вещества уменьшается, а увеличение давления к возрастанию величины адсорбции. Преимущество – легкая обратимость процесса путем:

- а) уменьшения давления
- б) увеличения температуры.

Адсорбированные молекулы легко десорбируются без изменения химического состава, а регенерированный адсорбент может использоваться многократно. Процесс можно вести циклично, чередуя стадию поглощения и выделения извлекаемого компонента.

Химическая адсорбция – в основе лежит химическое взаимодействие между адсорбентом и адсорбируемым веществом. Действующие при этом силы значительно больше, а высвобождающееся тепло совпадает с теплом химической реакции и составляет 20 – 400 кДж/моль.

Главные отличия:

- 1) молекулы адсорбтива, легко вступив в химическое взаимодействие, прочно удерживаются на поверхности и в порах адсорбента;
- 2) скорость реакции, при низких температурах мала, но возрастает с ростом температуры.

Оба вида адсорбции сопутствуют друг другу, однако, наибольшее значение для очистки газов имеет физическая адсорбция.

Адсорбцией называют процесс поглощения вещества из смеси газов, паров или растворов поверхностью или объемом пор твердого тела – адсорбента.

Явление адсорбции известно очень давно. Такие природные материалы, как песок и почва, использовали для очистки воды еще на заре человеческого общества. В конце XVIII века К. Шееле и одновременно Фонтана обнаружили способность свежепрокаленного древесного угля поглощать различные газы в объемах, в несколько раз превышающих его

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

собственный объем. Вскоре выяснилось, что величина поглощенного объема зависит от типа угля и природы газа. Т.Е. Ловиц в 1785 году открыл явление адсорбции углем в жидкой среде, подробно исследовал его и предложил использовать уголь для очистки фармацевтических препаратов, спирта, вина, органических соединений. Ловиц показал, что древесный уголь способен быстро очищать испорченную воду и делать ее пригодной для питья. И сейчас основным действующим началом фильтров для воды служат углеродные материалы, конечно более современные, чем природные угли. Адсорбция отравляющих веществ из воздуха была использована Н.Д. Зелинским при создании противогаза во время первой мировой войны.

Адсорбция газов на твердых поверхностях используется в некоторых отраслях пищевой промышленности, а именно масложировой (например, в производстве маргарина) и в бродильной (например, в производстве дрожжей) для очистки технологических газовых потоков с целью предотвращения выбросов вредных веществ в атмосферу. Поглощение паров воды происходит на пористых веществах, которые выполняют роль твердого адсорбента. Подобные процессы наблюдаются в отношении сахара, соли и сухарей. Адсорбционный способ регулирования газового состава хранилищ скоропортящихся продуктов позволяет в несколько раз сократить потери и увеличить сроки хранения. Адсорбция различных пищевых кислот, лимонной в частности, снижает по сравнению с водой поверхностное натяжение большинства прохладительных напитков. Адсорбция веществ на поверхности раздела жидкость – газ способствует устойчивости пен. Подобный процесс имеет место в бродильной промышленности при производстве дрожжей и некоторых других полупродуктов. Усиление смачивания водой различных поверхностей широко используется в промышленности в качестве сопутствующего процесса при мойке оборудования, подготовке сырья, обработке полуфабрикатов и т.д. Адсорбция на границе твердое тело – жидкость широко применяется при очистке жидкостей (например, диффузионного сока при производстве сахара, растительных масел и соков) от примесей.

Развитие теории адсорбционных сил еще не достигло такой стадии, когда по известным физико-химическим свойствам газа и твердого тела можно было бы рассчитать изотерму адсорбции, не проводя экспериментальных исследований. Поэтому попыткам описать экспериментальные изотермы с помощью различных теоретических уравнений, которым соответствуют определенные модели адсорбции, посвящено огромное количество работ. Если теоретическое уравнение изотермы адсорбции хорошо воспроизводит экспериментальные данные, то можно рассчитать неизвестные величины адсорбции при разных условиях (p и T) и определить различные геометрические параметры твердых тел. Рассмотрим лишь немногие, наиболее распространенные теоретические уравнения изотерм адсорбции.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					

1.2. Классификация процесса, основные определения

Основные понятия процесса адсорбции

Адсорбцией называется самопроизвольно протекающий диффузионный процесс взаимодействия двух фаз – твердого тела – адсорбента и газа, пара или растворенного вещества – адсорбтива, происходящий поглощением газа, пара или растворенного вещества поверхностью твердого тела.

Поглощение газов, паров и растворенных веществ твердыми телами обычно сопровождается процессами проникновения поглощаемого вещества в твердое тело (абсорбцией), капиллярной конденсацией и химическими реакциями (хемосорбцией), что весьма затрудняет изучение собственно адсорбции. Поэтому поглощение газов, паров и растворенных веществ твердыми телами обычно рассматривается как общий процесс сорбции.

Адсорбция всегда сопровождается выделением тепла. В большинстве случаев тепловой эффект адсорбции по своей величине приближается к теплоте конденсации поглощаемого газа или пара.

Адсорбцию подразделяют на два вида: физическую и химическую. Физическая адсорбция в основном обусловлена поверхностными вандервальсовыми силами, которые проявляются на расстояниях, значительно превышающих размеры адсорбируемых молекул, поэтому на поверхности адсорбента обычно удерживаются несколько слоев молекул адсорбата.

При химической адсорбции поглощаемое вещество вступает в химическое взаимодействие с адсорбентом с образованием на его поверхности обычных химических соединений.

Силы притяжения возникают на поверхности адсорбента благодаря тому, что силовое поле поверхностных атомов и молекул не уравновешено силами взаимодействия соседних частиц. По физической природе силы взаимодействия молекул поглощаемого вещества и адсорбента относятся в основном к дисперсионным, возникающим благодаря перемещению электронов в сближающихся молекулах. В ряде случаев адсорбции большое значение имеют электростатические и индукционные силы, а также водородные связи. Поэтому адсорбция является самопроизвольным процессом, течение которого сопровождается уменьшением свободной энергии и энтропии системы.

Процессы адсорбции избирательны и обратимы. Процесс, обратный адсорбции, называют десорбцией, которую используют для выделения поглощенных веществ и регенерации адсорбента.

Наиболее рационально применять адсорбцию для обработки смесей с низкой концентрацией извлекаемых веществ.

Статическая и динамическая активность адсорбентов.

Основной характеристикой адсорбента является его активность, определяемая весовым количеством вещества, поглощенного единицей объема или веса поглотителя.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

Различают активность статическую и динамическую.

Статическая активность адсорбента характеризуется максимальным количеством вещества, адсорбированного к моменту достижения равновесия весовой или объемной единицей адсорбента при данной температуре и концентрации адсорбируемого вещества в газо-воздушной смеси.

Динамическая активность является характеристикой адсорбента при протекании паровоздушной смеси через слой адсорбента до момента проскока адсорбируемого газа.

Если газовая смесь проходит через слой адсорбента, то в начальный период процесса адсорбтив полностью извлекается из газовой смеси. По истечении определенного промежутка времени в газовой смеси, уходящей из поглотителя, начинают появляться заметные, все возрастающие количества адсорбтива (проскок), и к концу процесса концентрация уходящего газа становится равной начальной концентрации паровоздушной смеси.

В адсорберах промышленного типа с активированным углем динамическая активность составляет 85-95% от статической, а в случае применения силикагеля динамическая активность оказывается меньше статической на 60-70%.

Селективные свойства адсорбентов.

В процессах адсорбции, так же как и в процессах абсорбции, поглощающие вещества (адсорбенты обладают селективными свойствами по отношению к поглощаемым газам и парам. Иными словами, применение адсорбционных процессов в качестве метода разделения газовых смесей основано на том, что газовая смесь, приведенная в соприкосновение с адсорбентом, освобождается лишь от одного компонента, в то время как другие оказываются непоглощенными.

Если в процессах абсорбции селективные качества процесса определялись растворимостью или нерастворимостью газа в поглощающей жидкости, то в процессах адсорбции критерием селективных качеств является статическая активность адсорбента.

Из смеси газов, приведенных в соприкосновение с адсорбентом, в первую очередь и в значительно большем количестве поглощается газ или пар того вещества, которое имеет более высокую температуру кипения. В большинстве случаев температура кипения поглощаемого газа (например, паров бензола) сильно отличается от температуры кипения инертного газа (например, воздуха) и присутствие инертного газа почти не оказывает влияния на ход процесса. В данном случае поглощение бензола из паровоздушной смеси с парциальной упругостью паров бензола p протекает точно так же, как и поглощение чистых паров бензола, имеющих то же давление.

Разделение адсорбционным методом смеси газов, компоненты которой имеют близко лежащие температуры кипения, предоставляет большие трудности или практически невозможно.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

1.3. Основные промышленные адсорбенты и их свойства

Основными промышленными адсорбентами являются пористые тела, обладающие большим объемом микропор. Свойства адсорбентов определяются природой материала, из которого они изготовлены, и пористой внутренней структурой.

В промышленных адсорбентах основное количество поглощенного вещества сорбируется на стенках микропор ($r < 10^9$ м). Роль переходных пор ($10^{-9} < r < 10^{-7}$ м) и макропор ($r < 10^{-7}$ м) в основном сводится к транспортированию адсорбируемого вещества к микропорам.

Адсорбенты характеризуются своей поглотительной, или адсорбционной способностью, определяемой максимально возможной концентрацией адсорбтива в единице массы или объема адсорбента, его пористой структуры, природы поглощаемого вещества, его концентрации, температуры, а для газов и паров – от их парциального давления. Максимально возможную при данных условиях поглотительную способность адсорбента условно называют равновесной активностью.

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

Активные угли, состоящие из множества беспорядочно расположенных микрокристаллов графита, обычно используют для поглощения органических веществ в процессах очистки и разделения жидкостей и газов (паров). Эти адсорбенты получают сухой перегонкой ряда углеродсодержащих веществ (древесины, каменного угля, костей животных, косточек плодов и др.). После этого уголь активируют, например прокалывают его при температуре 850-900° С, что приводит к освобождению пор от смолистых веществ и образованию новых микропор. Активацию проводят также экстрагированием смол из пор органическими растворителями, окислением кислородом воздуха и др. Более однородная структура углей получается при их активации химическими методами: путем их обработки горячими растворами солей (сульфатами, нитратами и др.) или минеральными кислотами (серной, азотной и др.)

Качество активированных углей зависит от свойств исходных углеродсодержащих материалов и от условий активации. Характеристикой степени активации активированного угля является обгар, т. е. сгоревшая часть угля, выраженная в процентах от количества исходного материала.

Активированный уголь применяется при адсорбции либо в виде зерен величиной от 1 до 7 мм, либо в виде порошка. Зерна и порошок получают путем измельчения и классификации. Удельная активная поверхность

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

активных углей выражается величиной от 600 до 1700 м² на один грамм. Применяются активированные угли главным образом для поглощения паров органических жидкостей, находящихся в газовых смесях, и для очистки различных растворов от примесей.

Серьезным недостатком этих углей является горючесть, и применять их можно при температурах не выше 200°. Для уменьшения горючести к ним подмешивают силикагель, однако такая добавка приводит к понижению активности адсорбента, поэтому активированные угли с добавкой к ним силикагеля практически применяют сравнительно редко.

Силикагелем называют продукт обезвоживания геля кремневой кислоты, получаемого действием серной или соляной кислот или растворов кислых солей на раствор силиката натрия. Выпавший гель кремневой кислоты после промывки высушивается при температуре 115-130° до влажности 5-7%.

Силикагель отличается однородностью пор как по величине, так и распределению. Применяется силикагель в виде зерен диаметром от 0,2 до 7 мм главным образом для поглощения паров воды, т. е. для сушки газов. Удельная активная поверхность силикагеля выражается величиной порядка 600 м² на один грамм.

К достоинствам силикагелей относятся их негорючесть и большая механическая прочность. Недостатком относится резкое снижение поглотительной способности по отношению к парам органических веществ в присутствии влаги.

По сорбционным свойствам к силикагелю близко примыкают алюмагели, получаемые термической обработкой гидроксида алюминия при температурах 600-1000°С. Поры полученного сорбента имеют диаметр 1-3 нм, удельную поверхность $2 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^5$ м²/кг; насыпная плотность такого сорбента 1600 кг/м³. Алюмагели используют для осушки газов, очистки водных растворов и минеральных масел.

Цеолиты представляют собой природные или синтетические минералы, которые являются водными алюмосиликатами, содержащими оксиды щелочных щелочноземельных металлов. Эти адсорбенты отличаются регулярной структурой пор, размеры которых соизмеримы с размерами поглощаемых молекул. Особенность цеолитов состоит в том, что адсорбционные поверхности соединены между собой окнами определенного диаметра, через которые могут проникать только молекулы меньшего размера. На этом основано разделение смесей с разными по размеру молекулами, что послужило причиной называть цеолиты молекулярными ситами.

Для разделения газовых смесей применяют цеолиты в виде шариков или гранул размером от 1 до 5 мм, а для разделения жидких смесей – в виде мелкозернистого порошка.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

Особенно широко цеолиты используют для глубокой осушки газов и жидкостей, в процессах очистки и разделения смесей веществ с близкой молекулярной массой, а также в качестве катализаторов и их носителей.

Для очистки жидкостей от различных примесей в качестве адсорбентов применяют природные глинистые породы. Эти глины для их активации обрабатывают серной или хлороводородной кислотами и получают адсорбент с удельной поверхностью пор порядка $(1,0 \div 1,5) \cdot 10^5$ м²/кг.

Промышленные адсорбенты

Любое твердое тело обладает поверхностью и, следовательно, потенциально является адсорбентом.

В технике используют адсорбенты с сильно развитой внутренней поверхностью, полученной в результате (спекания), синтеза и специальной обработки.

Адсорбенты должны обладать:

- большой динамической емкостью (временем защитного действия);
- большой удельной поверхностью;
- избирательностью;
- термической и механической устойчивостью;
- способностью к регенерации;
- простотой изготовления;
- дешевизной;

Это – активные угли, силикагели, цеолиты, глинистые минералы, пористые стекла и другие.

Адсорбционная емкость адсорбентов (активность)

По ней определяют размеры аппаратов и эффективность очистки газов.

Различают статическую и динамическую емкость адсорбента. Размерность [грамм поглощенного вещества/на 100г. адсорбента или моль/г.]

Статическая емкость показывает, какое количество вещества способен адсорбировать адсорбент в условиях равновесия.

Динамическая емкость соответствует поглощенного вещества слоем адсорбента от начала процесса до начала «проскока» адсорбтива, т.е. когда в выходящем из слоя адсорбента газе – носителе появляются следы адсорбтива.

Адсорбционная емкость зависит: от природы вещества она возрастает с увеличением поверхности, пористости, снижения размеров пор. Она возрастает: с повышением концентрации загрязняющих веществ газе – носителе; давления в системе. С увеличением температуры и влажности адсорбционная емкость уменьшается, поэтому перед использованием их высушивают. Хороший адсорбент не теряет активности при выполнении сотен и тысяч циклов.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

Адсорбционная очистка газов наиболее эффективна при обработке больших объемов газов с малым содержанием примесей, например, для тонкой очистки технологических газов от сернистых соединений и диоксида углерода, а также при удалении паров ядовитых веществ и канцерогенов. Наиболее целесообразно применение при необходимости уменьшения содержания примесей до нескольких миллионных долей и даже ниже, например, загрязняющие вещества с сильным запахом можно обнаружить при содержании их в воздухе порядка 100 млрд^{-1} , поэтому требуется понижать концентрацию еще ниже.

Эффективность адсорбционных систем определяется, главным образом, свойствами адсорбента, который должен:

- иметь высокую адсорбционную способность;
- обладать высокой селективностью;
- иметь высокую механическую прочность;
- хорошо регенерироваться;
- иметь низкую стоимость.

Адсорбенты подразделяют на три группы:

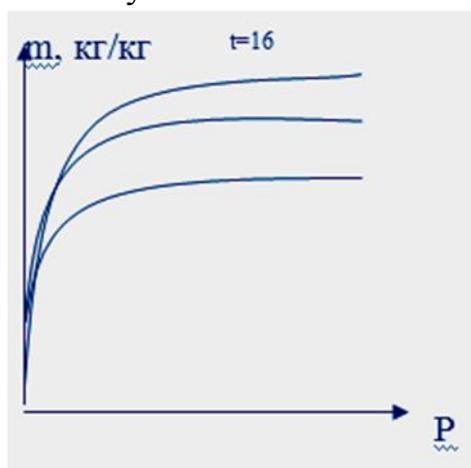
1) неполярные твердые вещества, на поверхности которых происходит физическая адсорбция.

2) полярные – происходит химическая адсорбция без изменения структуры молекул газа и поверхности адсорбента.

3) вещества, на поверхности которых протекает чисто химическая адсорбция и которые десорбируют молекулы газа после химической реакции, при этом требуется их замещение.

Самый распространенный неполярный адсорбент – активированный уголь, состоящий из нейтральных атомов одного вида и имеющий поверхность с равномерным распределением зарядов на молекулярном уровне.

Выпускают:



1) для отечественных вентиляций АГ, КАУ, СКТ. Размер гранул 1 – 6 мм, $\rho_n=380 - 600 \text{ кг/м}^3$.

2) рекуперационные угли АР, АРТ, СКТ – 3.

3) молекулярно – ситовые угли MSC.

Количество газа адсорбированного 1 г. адсорбента в равновесном состоянии зависит от природы адсорбента и адсорбата, а также от температуры и давления. Зависимость массы (m) адсорбированных загрязняющих веществ на адсорбате (активированный уголь) при $t=\text{const}$.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

Изотерма адсорбции показывает, что поскольку адсорбция – процесс экзотермический, то количество вещества, адсорбированного в состоянии равновесия, уменьшается с повышением температуры.

Регенерация адсорбента включает в себя:

- десорбция, сушка, охлаждение

а) термическая (160 ÷ 170°)

б) при высоких температурах (300 – 400°)

в) вытеснительная (холодная)

Характеристика адсорбента

В качестве адсорбентов применяются пористые твердые вещества с большой удельной поверхностью, обычно относимой к единице массы вещества. Адсорбенты имеют различные по диаметру капиллярные каналы — поры, которые условно могут быть разделены на макропоры (более 2-10~4мм), переходные поры (6-10~6—2-10~4мм), микропоры (2-10~6—6-10~вмм). Характер процесса адсорбции определяется размером пор.

Удельная поверхность макропор относительно очень мала, поэтому на их стенках адсорбируется ничтожное количество вещества. Макропоры играют роль лишь транспортных каналов для адсорбируемых молекул.

На поверхности переходных пор, размеры которых обычно значительно превышают размеры адсорбируемых молекул, в процессе адсорбции образуются слои поглощенного вещества. Возможно образование слоев толщиной в одну молекулу (мономолекулярная адсорбция) и в несколько молекул (полимолекулярная адсорбция).

Размеры микропор приближаются к размерам адсорбируемых молекул и адсорбция в микропорах приводит к заполнению их объема. Вследствие этого предположение об образовании слоев поглощенного вещества на поверхности микропор не имеет физического смысла. Обычно микропоры пересекаются макро- и переходными парами, что сокращает путь, проходимый адсорбируемыми молекулами, и приводит к ускорению адсорбции.

В больших порах диаметром более 2 - 10~мм и малых порах, сравнимых с диаметром молекул поглощаемого вещества, явление капиллярной конденсации отсутствует.

Адсорбенты характеризуются своей поглотительной, или адсорбционной, способностью, определяемой концентрацией адсорбтива в единице массы или объема адсорбента.

Поглотительная способность адсорбента по отношению к данному веществу зависит от температуры и давления, при которых производится адсорбция, и от концентрации поглощаемого вещества. Максимально возможная при данных условиях поглотительная способность адсорбента условно называется его равновесной активностью.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

В промышленности в качестве поглотителей применяют главным образом активные угли и минеральные адсорбенты (силикагель, цеолиты и др.), а также синтетические ионообменные смолы (иониты).

Активные угли – сорбенты органического происхождения (из угля, торфа, древесных материалов, отходов бумажного производства, кости животных, скорлупа орехов, косточки плодов и т.д.).

Вначале исходный материал подвергают термической обработке при $t = 600 \div 900^\circ\text{C}$, из углей улетучивается влага и смолы, а затем для придания пористости его активируют – обрабатывают паром, газами или химическими реагентами (CO , CO_2 , NH_3 , водяной пар) при $t = 800 \div 900^\circ\text{C}$. Изменяя температуру, скорость подачи активатора и время активации, получают с разными адсорбционно – структурными свойствами марки активных углей : БАУ, ДАК, АР - А, АР – Б, КАД, СКТ – 1,2,3,4. Основная характеристика – рнас, и фракционный состав. Выпускают в виде гранул, диаметром $2 \div 5$ мм, $H >$ диаметра. Иногда их дробят на более мелкие фракции $0,15 \div 2,5$ мм, применяют для газоочистки со стационарным движением и слоем адсорбента.

Порошкообразные угли $d_{\text{фр}} < 0,15$ мм – для очистки веществ в жидкой фазе. БАУ – Березовский активный уголь, АГ – гранулированный активный уголь, АР – активный уголь рекуперационный. КАУ – косточковый, СКТ – уголь сернистокалиевой активации.

Для очистки газовых выбросов (вентиляционных) применяют марки АГ, КАУ. СКТ, а также угли из полимерных материалов и молекулярно – ситовые угли (MSC) – обладают высокой адсорбционной активностью в области малых концентраций загрязняющих веществ, отличающихся повышенной прочностью, так САУ – (изготавливают из полимера урана).

Отрицательные свойства –горючесть, окисляются при $t = 250^\circ\text{C}$, чтобы уменьшить пожароопасность, к углю добавляют силикагели.

Высокопористые активные угли получают путем сухой перегонки различных углеродсодержащих веществ (дерева, костей и др.) и активирования полученных углей для повышения их пористости. Активирование осуществляют прокаливанием угля при температурах 900°C , а также другими способами, например удалением из пор угля, смол и некоторых других продуктов сухой перегонки путем их экстрагирования органическими растворителями, окислением кислородом воздуха и др. Для повышения активности углей в них часто перед обугливанием вводят активирующие добавки (растворы хлористого цинка, кислот, щелочей и др.).

Удельная поверхность активных углей колеблется от 600 до 1700 м²/г.

Размер гранул некоторых стандартных марок активных углей для адсорбции газов и паров составляет 1—5 мм (уголь БАУ) и 1,5—2,7 мм (уголь СКТ). Насыпная плотность углей этих марок равна 350 и 380—450 г/ж³ соответственно. Применение углей того или иного вида зависит от

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

разновидности процесса адсорбции, в котором они используются (поглощение газов, рекуперация летучих растворителей и т. д.).

Активные угли лучше поглощают пары органических веществ, чем воды, однако с повышением содержания влаги в активных углях их способность поглощать пары органических веществ снижается. Они применяются обычно для рекуперации летучих растворителей. Недостатком активных углей является их горючесть.

Силикагели. Эти адсорбенты представляют собой продукты обезвоживания геля кремневой кислоты, получаемые путем обработки раствора силиката натрия (растворимого стекла) минеральными кислотами или кислыми растворами их солей. Удельная поверхность силика-гелей изменяется от 400 до 770 м²/г. Размер гранул колеблется от 0,2 до 7 мм, насыпная плотность составляет 100—800 кг/м³.

Силикагели применяются главным образом для осушки газов. Поглощительная способность силикагелей по отношению к парам органических веществ сильно снижается в присутствии влаги. Достоинством силикагелей является их негорючесть и большая механическая прочность, чем у активных углей.

Селикагели – гидратированный аморфный, получаемый путем взаимодействия жидкого стекла и серной кислоты. Это минеральный адсорбент, продукт реакции $(\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O})$ $d_{\text{фр}} = 0,2 \div 7$ мм в виде зерен, $\rho_{\text{нас}} = 0,2 \div 7 \text{ г/см}^3$.

Дешевый сорбент, имеет высокую механическую прочность к истиранию, низкую температуру регенерации (110-120°С), применяют для осушки газов и улавливания органических загрязняющих веществ.

Селикагель, полученный в кислой среде и промытый подкисленной водой – обладает мелкими порами. В щелочной среде – крупнопористые.

В зависимости от формы зерна:

- кусковый селикагель (зерна неправильной формы);
- гранулированный (зерна сферической или овальной формы).

Рекомендуемый гранулометрический состав селикагелей для различных способов очистки газов

- для процессов с кипящим слоем – 0,1 ÷ 0,25 мм
- с движущимся слоем - 0,5 ÷ 2,0мм
- со стационарным слоем – 2,0 ÷ 7,0мм

Недостаток – разрушение зерен под воздействием капельной влаги

Алюмогели – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – активные оксиды алюминия, как и силикагели являются гидрофильными адсорбентами, они обладают развитой структурой, большой поверхностью и приемлемы для осушки газов, улавливания углеводородов и фтора. Они более стойки к действию воды. Они способны поглощать от 4 до 10 % водяных паров от собственной массы.

Цеолиты (с греч. кипящие камни). Все выше рассмотренные адсорбенты имеют нерегулярную структуру, поэтому в их поры могут

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

проникать и удерживаться самые различные по размерам молекулы, т.е. они не обладают избирательной адсорбцией – это их недостаток.

Избирательно адсорбировать одинаковые по размеру молекулы могут адсорбенты со строго регулярной пористой структурой – это природные минералы сидерит, фожазит, эрионит, глабазит, морденит и др. Путем термической обработки их превращают адсорбент, обладающий высокой пористостью, большой поверхностью и одинаковыми размерами пор. Природных цеолитов в природе мало, они загрязнены примесями, поэтому для промышленного применения синтезированы примерно 100 наименований цеолитов.

Наиболее применимы цеолиты марок КА, NaA, CaA, NaX, CaX. Первая буква соответствует катиону, компенсирующему заряд решетки (K^+ , Na^+ , Ca^{2+}), вторая – тип кристаллической решетки.

Цеолиты – уникальные адсорбенты, извлекающие аммиак, SO_2 , ацетилен, H_2S , CO_2 и т.д.

Эти адсорбенты представляют собой природные или синтетические минералы, которые являются водными алюмосиликатами катионов элементов первой и второй групп периодической системы Д. И. Менделеева. В качестве промышленных адсорбентов применяются главным образом искусственные (синтетические) цеолиты. Относительно недавно были получены цеолиты, обладающие весьма однородной структурой пор, размеры которых соизмеримы с размерами адсорбируемых молекул. Эти цеолиты проявляют молекулярно-ситовое действие, которое заключается в их способности не поглощать молекулы, диаметр которых больше диаметра пор. Молекулярно-ситовыми свойствами обладают также некоторые природные цеолиты, например натролит. Молекулярно-ситовое действие цеолитов часто используют в промышленной практике для разделения некоторых веществ, например нормальных и изопарафиновых углеводородов.

Цеолиты отличаются высокой поглотительной способностью по отношению к воде и являются высокоэффективными адсорбентами для осушки и очистки газов и жидкостей, в частности для глубокой осушки газов, содержащих небольшие количества влаги. Размер гранул цеолитов составляет от 2 до 5 мм, Иониты. Эти адсорбенты представляют собой как природные, так и синтетические неорганические и органические вещества. К природным ионитам относятся цеолиты, глинистые минералы, ископаемые угли и др. Синтетическими ионитами являются плавленные цеолиты и молекулярные сита (цеолиты с правильной кристаллической структурой), ионообменные смолы, активированные минералы и органические вещества и др.

Иониты практически нерастворимы в воде, а также в обычных растворителях и обладают подвижными ионами, способными обмениваться на

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

эквивалентное количество ионов (с зарядом того же знака) из раствора электролита, с которым поглотитель взаимодействует.

Иониты, содержащие кислые активные группы и обменивающиеся с раствором электролита подвижными анионами, называются анионитами, а иониты, содержащие активные основные группы и обменивающиеся подвижными катионами — катионитами. Существуют также амфотерные иониты, способные к катионному и анионному обмену одновременно.

Типичные реакции ионного обмена:

1. Реакция анионного обмена

2. Реакция катионного обмена, причем в обоих уравнениях выделены формулы веществ, составляющих твердую фазу.

Механизм ионного обмена обусловлен структурой и свойствами ионита. Так, например, иониты с кристаллической решеткой содержат в ее углах ионы, удерживаемые электростатическими силами; под действием этих сил и происходит в основном ионный обмен. Свойства многих ионитов связаны с их способностью к набуханию в водных растворах; набухание обычно сопровождается весьма значительным повышением давления.

Ионообменные смолы обладают большой обменной емкостью, избирательностью к отдельным ионам, химической стойкостью и механической прочностью. Поэтому сейчас они являются наиболее распространенными ионитами, практически вытеснившими в промышленных условиях иониты других типов.

Изменением состава активных групп при синтезе ионообменных смол, можно получить иониты с весьма разнообразными свойствами.

Регенерация адсорбентов

Регенерация заключается в удалении из его пор адсорбированного вещества. Эффективность процесса очистки зависит от качества и скорости выделения адсорбированного вещества из адсорбента.

Методы адсорбции:

— термическая (повышение температуры слоя адсорбента до 110 – 130 °С – при обычных и 300 – 400 – повышенных температурах);

— вытеснительная десорбция (при 30 – 80 °С);

— в настоящее время более распространена десорбция с полем острого водяного пара.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

1.4. Химическая адсорбция

Хемосорбционная очистка газов от сероводорода начала использоваться с середины 19-го века для очистки светильного газа в Англии. Это был первый в мире хемосорбционный процесс технологической очистки газов. В этом процессе в качестве хемосорбента использовалась поглотительная масса на основе природного сырья — болотной руды, содержащей гидроксид железа. В течение долгого времени этот способ оставался, практически, единственным процессом очистки горючих газов от сероводорода, и получил широкое распространение в мировой практике. Способ непрерывно совершенствовался как по составу и методам приготовления хемосорбента, так и по аппаратному оформлению.

Однако по мере увеличения объемов перерабатываемых газов и вовлечения в переработку газов с высоким содержанием сероводорода, этот процесс был практически вытеснен из промышленности жидкостными циклическими и окислительными методами очистки газов. В последние годы для очистки природного газа с низким содержанием сероводорода широкое распространение получили адсорбционные процессы с использованием синтетических цеолитов.

Наряду с традиционными адсорбентами в последние годы разрабатывают поглотители на основе оксидов молибдена, теллура, марганца и карбонатов щелочных металлов, которые осуществляют не только физическую адсорбцию, но и хемосорбцию.

Оксиды цинка, железа, меди относятся к наиболее распространенным твердым хемосорбентам. При использовании оксидов железа (наиболее старый способ) протекают реакции:



Регенерация сорбента проводится воздухом по реакциям:



В зависимости от количества подаваемого на регенерацию воздуха можно получать как элементарную серу, так и оксиды серы. Метод характеризуется дешевизной, возможностью регенерации хемосорбента, но существенным его недостатком является низкая степень очистки от сероводорода (до 10 мг/м³) и невозможность использования образующейся серы.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

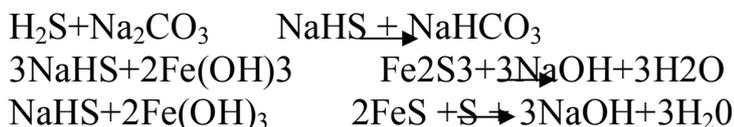
При очистке с помощью оксидов цинка протекают реакции не только с сероводородом, но и с другими сернистыми соединениями:



Температура процесса 350-400 °С, а сероёмкость сорбента достигает 30%. Остаточное содержание серы в газе до 1мг/м³. Процесс достаточно универсальный, широко используется в промышленности, однако при этом сам хемосорбент не подлежит регенерации. При очистке с помощью оксидов меди процесс протекает с большой скоростью, но хемосорбент также не подлежит регенерации.

Широкое распространение получила хемосорбционно-каталитическая система. На первой стадии проводят каталитическое гидрирование сероорганических соединений до углеводородов и сероводорода, а далее— хемосорбцию сероводорода поглотителями (оксидами цинка, железа или меди). В России разработан низкотемпературный хемосорбент ГИАП-10-2 на основе оксида цинка с активирующей добавкой оксида меди.

Близкий к этому – *железо-содовый метод*. Основан на использовании в качестве поглотительного раствора взвеси гидроксида двух- и трехвалентного железа



Регенерацию поглотительного раствора осуществляют пропуская через него воздух. При этом около 70% сероводорода переводится в элементарную серу, а 30% — окисляется до тиосульфата натрия.

В заключение следует отметить, что основным достоинством всех процессов очистки природного газа от сероводорода твердыми сорбентами является простота аппаратного оформления и легкость проведения технологического процесса собственно очистки газа, особенно, в случае использования дешевых нерегенерируемых сорбентов на основе оксида железа.

Общим недостатком таких процессов является низкая линейная скорость газов в аппаратах газоочистки (на порядок ниже, чем при абсорбционных процессах). То есть для очистки газов твердыми сорбентами требуются газоочистные аппараты с площадью сечения в 10 раз большей, чем при абсорбционной очистке.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

2.1. Оборудование, реализующее процесс адсорбции

При адсорбционном разделении требуется осуществлять следующие основные стадии.

Адсорбция — контактирование подлежащей разделению смеси с адсорбентом, в результате которого определенные компоненты смеси адсорбируются, а оставшиеся выводятся из слоя. При адсорбционном разделении жидких смесей во многих случаях к ним добавляют растворитель, который плохо адсорбируется. Его основное назначение заключается в снижении вязкости среды, облегчающем диффузию адсорбируемых компонентов.

Десорбция — контактирование отработанного адсорбента с десорбирующим агентом с целью извлечения поглощенных компонентов и достижения необходимой степени регенерации адсорбента. Для облегчения десорбции и сокращения расхода десорбирующего агента, а также для более полной регенерации адсорбента процесс десорбции, как правило, проводят при повышенной температуре.

Удаление десорбирующего агента из слоя адсорбента и подготовка адсорбента для проведения адсорбции или окислительной регенерации. Удаление десорбирующего агента из слоя адсорбента часто сопровождается охлаждением слоя до температуры процесса адсорбции.

В случае применения окислительной регенерации адсорбента происходит значительное повышение температуры адсорбента и поэтому перед стадией адсорбции требуется специальное охлаждение адсорбента.

Отделение десорбирующего агента и растворителей от целевых продуктов тем или иным способом (перегонка, ректификация, отстаивание) является вспомогательной стадией процесса адсорбции, расчет которой производится методами, изложенными в других главах.

В нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности применяются адсорберы следующих основных типов:

- 1) с неподвижным слоем адсорбента;
- 2) с движущимся слоем адсорбента;
- 3) с псевдооживленным слоем адсорбента.

Адсорберы с неподвижным слоем адсорбента представляют собой вертикальные аппараты, заполненные гранулированным адсорбентом. В промышленной практике общая высота слоя адсорбента предопределяется необходимым его объемом и величиной гидравлического сопротивления слоя адсорбента; обычно она составляет от 2 до 12 м.

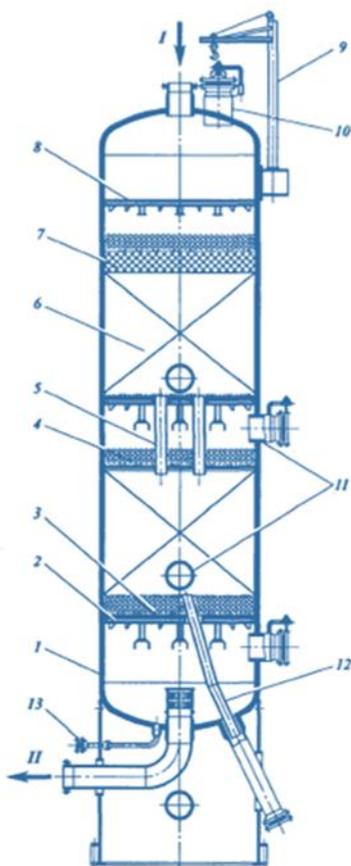
На рисунке представлен адсорбер, предназначенный для очистки природного газа от сероводорода и меркаптанов. В корпусе аппарата 1 диаметром 3,6 м расположены по высоте два слоя цеолита NaX высотой 3,6 м. Каждый слой цеолита 6 поддерживается опорной решеткой 2, на которой установлен перфорированный лист 3 и два слоя металлической сетки. Над

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

верхним слоем цеолита размещен дополнительно слой алюмогеля 7 для осушки газа. Для уменьшения динамического воздействия потока газа и более равномерного его распределения над адсорбентом расположен слой фарфоровых шаров 4 высотой 300 — 600 мм. При загрузке адсорбента используют штуцер 10 и кран-укосину 9. Переток адсорбента из одной зоны в другую при его загрузке и выгрузке осуществляется по трубам 5. Выгрузку адсорбента из аппарата производят по трубопроводу 12.

Для уменьшения гидравлического сопротивления слоя адсорбента разработаны конструкции адсорберов с радиальным движением потока газа. На рисунке показаны варианты адсорберов, предназначенных для очистки газовых выбросов от органических веществ, которые по условиям десорбции могут быть несекционированными и секционированными. Адсорбер состоит из корпуса 2, в котором размещены кольцевые решетки 3, удерживающие слой адсорбента 4 толщиной 300 — 650 мм. Решетки образованы из двух слоев металлической сетки каркасной 18 x 2,5 мм и фильтровальной 2 x 1 мм. Для удобства монтажа и демонтажа кольцевые решетки по высоте разделены на одинаковые участки, соединенные между собой с помощью безболтового самоуплотняющегося разъемного соединения. Загрузка адсорбента производится через верхний штуцер 5, отработанный адсорбент удаляется из слоя при подъеме затвора 8 разгрузочного устройства.

Адсорбер аксиального типа с неподвижным слоем адсорбента:



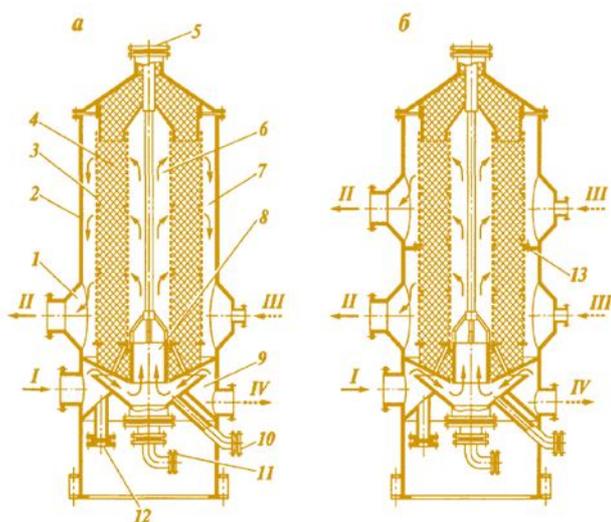
1 — корпус; 2 — опорная решетка; 3 — перфорированный лист и два слоя сетки; 4 — фарфоровые шары; 5 — переточные трубы для загрузки (выгрузки) адсорбента; 6 — слой цеолита; 7 — слой алюмогеля; 8 — решетка; 9 — кран-укосина; 10 — штуцер для загрузки адсорбента; 11 — люк-лаз; 12 — трубопровод для выгрузки адсорбента. Поток: I — исходный газ; II — отработанный газ

Пространство, ограниченное кольцевой решеткой меньшего диаметра, является центральным раздающим каналом б. Пространство между стенкой корпуса и кольцевой решеткой большего диаметра является собирающим кольцевым каналом 7.

Исходный газ через раздающий коллектор 9 поступает в центральный раздающий канал б, проходит через слой адсорбента 4 и собирается в кольцевом канале 7, откуда через собирающий коллектор / выбрасывается в атмосферу.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

Десорбция органических веществ из адсорбента осуществляется острым водяным паром при температуре 105—140 °С. Смесь десорбированных органических веществ и воды выводится из нижней части адсорбера через штуцер 10. После окончания стадии десорбции осуществляется сначала сушка адсорбента подогретым атмосферным воздухом при температуре 60—100 °С и затем охлаждение атмосферным воздухом. По условиям технологии процесса очистки газов стадии сушки и охлаждения могут быть исключены.



С целью защиты от внезапного повышения давления при возможных загораниях или взрыве паровоздушной смеси адсорбер со стороны раздающего коллектора 9 снабжен предохранительной разрывной мембраной 12, срабатывающей при давлении свыше 0,075 МПа.

Адсорбер радиального типа с неподвижным слоем адсорбента:

а — несекционированный; б — секционированный; 1 — собирающий коллектор; 2 — корпус; 3 — кольцевая решетка; 4 — слой адсорбента; 5 — штуцер для загрузки адсорбента; 6 — центральный раздающий канал; 7 — кольцевой собирающий канал; 8 — разгрузочное устройство; 9 — раздающий коллектор; 10 — штуцер для выгрузки адсорбента; 11 — штуцер для слива конденсата; 12 - предохранительная разрывная мембрана; 13 — секционирующая перегородка. Поток: I — исходный газ; II — отработанный газ; III — водяной пар на десорбцию; IV — смесь паров воды и адсорбата

В адсорберах с неподвижным слоем адсорбента все стадии процесса протекают в определенной последовательности в одном аппарате и для непрерывной работы установки приходится иметь несколько аппаратов, работающих по определенному циклу. Непрерывность работы такой установки обеспечивается тем, что производительность стадии адсорбции точно соответствует суммарной продолжительности стадий десорбции, сушки и охлаждения. Если продолжительность стадий десорбции, сушки и охлаждения превышает продолжительность стадии адсорбции, то непрерывность работы установки достигается применением двух и большего числа адсорберов.

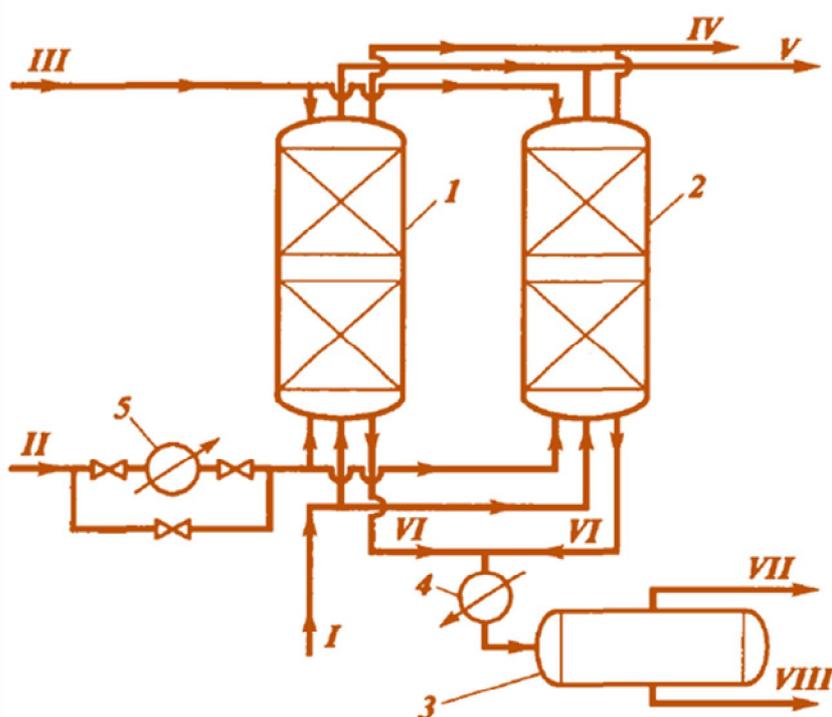
В соответствии со схемой, показанной на рисунке, в течение стадии адсорбции разделяемая газовая смесь поступает в один из адсорберов, при этом извлекаемые компоненты адсорбируются, а сухой газ удаляется из аппарата. В то же время в другой адсорбер, где уже завершилась стадия

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

адсорбции, вводится водяной пар для десорбции извлеченных компонентов, направляемых сначала в конденсатор-холодильник и далее в водоотделитель. Затем подают нагретый воздух для сушки адсорбента, а потом холодный воздух для окончательной подготовки адсорбента к последующему циклу адсорбции.

Переключение адсорберов осуществляется автоматически при помощи регулятора, работающего по заданному графику.

На рисунке приведен циклический график работы адсорберов. В случае адсорбционного разделения жидкого исходного сырья принципиальная схема установки с переключающимися адсорберами остается такой же. В



качестве десорбирующего агента в этом случае используют различные растворители, которые могут применяться и для охлаждения адсорбента.

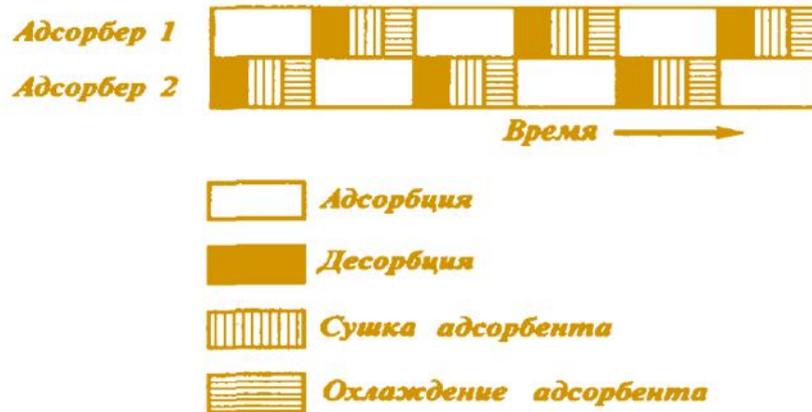
Адсорберы с движущимся слоем адсорбента применяются для извлечения этилена из его смеси с водородом и метаном, водорода из

смеси газов и т.п. В этом случае процесс ведется непрерывно и каждая его стадия осуществляется в определенном аппарате или части аппарата, причем адсорбент последовательно перемещается между отдельными аппаратами по системе пневмотранспорта. В качестве адсорбента часто применяется гранулированный активированный уголь.

Схема адсорбционной установки с двумя адсорберами:

1, 2 — адсорбер; 3 — водоотделитель; 4 — холодильник; 5 — нагреватель. Потоки: I — исходный газ; II — воздух на сушку и охлаждение; III — водяной пар на десорбцию; IV — воздух из десорберов; V — сухой газ; VI — смесь паров воды и адсорбата; VII — адсорбат; VIII — вода

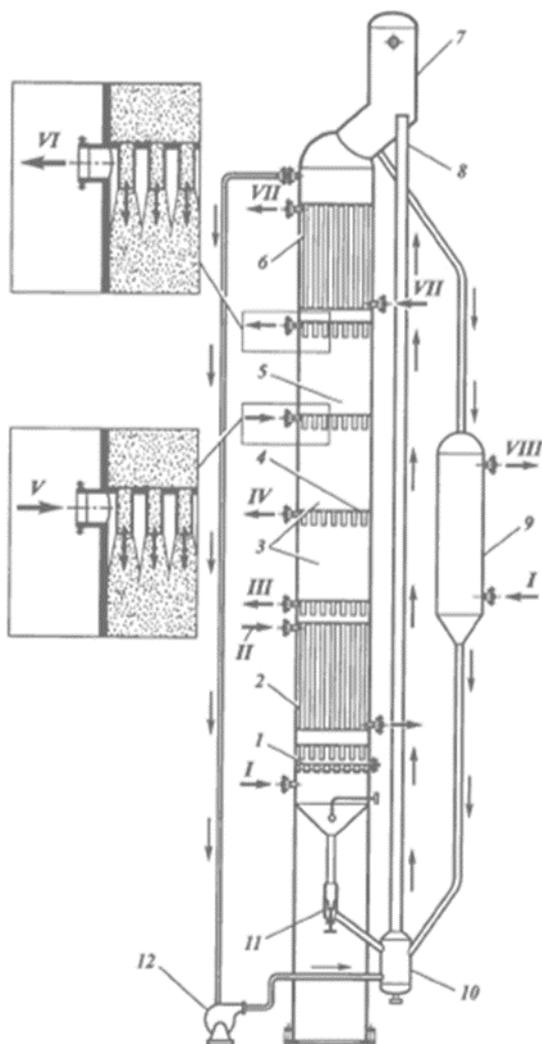
Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					



Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					

Циклический график

Схема адсорбера с движущимся сплошным слоем адсорбента для разделения смеси газов представлена на рисунке. Аппарат комбинированный, состоит из отдельных зон, в которых осуществляются адсорбция, десорбция, нагрев и охлаждение адсорбента. Через аппарат непрерывно перемещается сплошным слоем под действием силы тяжести сверху вниз поступающий из бункера 7 гранулированный адсорбент. Он последовательно проходит через соответствующие зоны аппарата, в которых протекает тот или иной процесс.

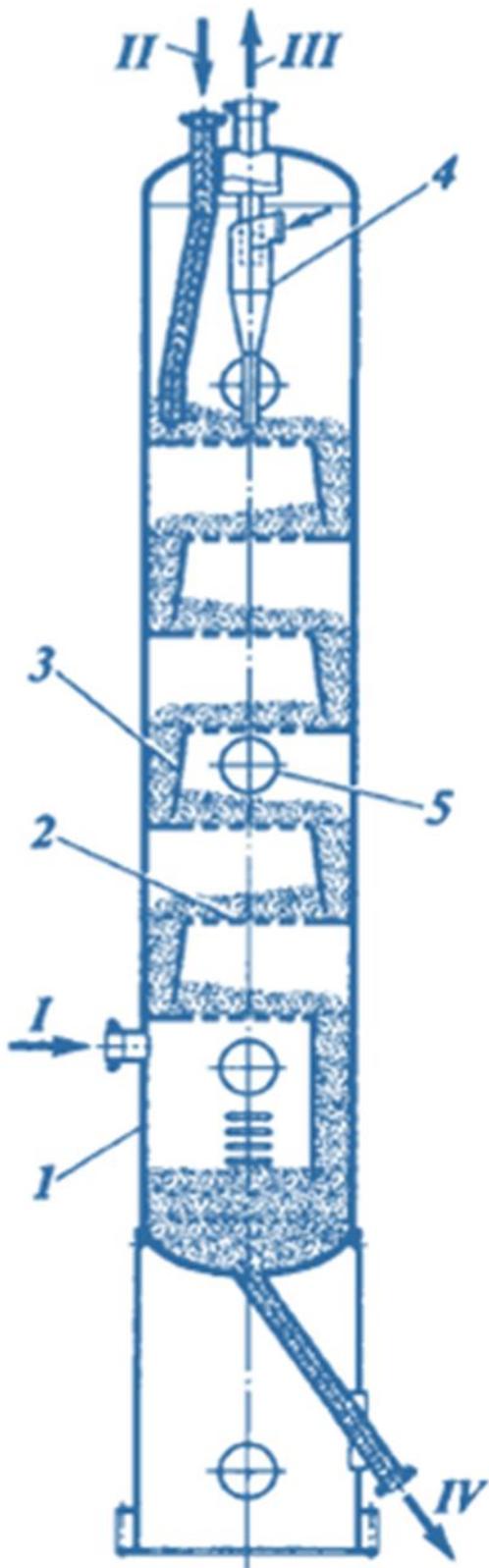


Отработанный адсорбент с низа аппарата через питатель 1, регулирующий количество циркулирующего в системе адсорбента, направляется в сборник 10 пневмоподъемника, куда газодувкой 12 подается транспортирующий газ. Далее адсорбент под воздействием газового потока поднимается в верхний бункер 7, откуда вновь направляется в верхнюю часть адсорбера.

Исходный газ, подлежащий разделению, условно рассматриваемый как состоящий из смеси легкой и тяжелой фракций, направляется под распределительную тарелку, равномерно распределяется по всему сечению аппарата и вступает в контакт, с движущимся слоем адсорбента. Через трубки распределительной тарелки газ поступает в верхнюю адсорбционную зону 5, где в

противотоке с адсорбентом происходит адсорбция. Из верхней части этой зоны отводится легкая фракция. По мере перемещения газа вверх в адсорбционной зоне происходит массообмен, в результате которого подлежащие извлечению молекулы газа вытесняют с поверхности адсорбента менее активные молекулы легкой фракции, в конечном счете, с верха этой зоны получают достаточно чистую легкую фракцию с высокой концентрацией в ней малоактивных компонентов исходной смеси.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				



В зоне ввода исходного газа адсорбированная фаза по составу близка к составу равновесного с исходным газом адсорбата и, следовательно, содержит наряду с извлекаемыми компонентами и компоненты легкой фракции.

Адсорбер с движущимся слоем адсорбента для разделения газов:

1 - питатель; 2 - нагреватель; 3 — зона ректификации; 4 — распределительная тарелка; 5 — зона адсорбции; 6 — холодильник; 7 — бункер; 8 — пневмоподъемник; 9 — реактиватор; 10 — сборник; 11 — регулирующая задвижка; 12 — газодувка. Потoki: I — водяной пар; II — греющий агент; III — тяжелая фракция; IV — промежуточная фракция; V — исходный газ; VI — легкая фракция; VII — охлаждающая вода; VIII — продукты реактивации и водяной пар.

В различных сечениях аппарата имеются четыре распределительные тарелки 4, обеспечивающие равномерное движение встречных потоков адсорбента и газа по всему сечению. Эти же распределительные приспособления используются для сбора газа, отделенного от адсорбента, и вывода его из аппарата.

Для получения извлекаемых компонентов высокой чистоты необходимо удалить с поверхности адсорбента компоненты легкой фракции. Этот процесс и осуществляется в зоне 3, названной зоной ректификации, где протекает массообмен, схожий с процессом ректификации в нижней

части ректификационной колонны.

В нижнюю часть зоны ректификации 3 поступают десорбированные в нагревателе 2 компоненты тяжелой фракции, и при контактировании со встречным потоком адсорбента происходит массообмен, при котором

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

компоненты легкой фракции, содержащиеся в адсорбате, вытесняются и замещаются более активными молекулами тяжелой фракции.

Таким образом, газовая фаза, перемещаясь снизу вверх, все более обогащается компонентами легкой фракции, тогда как адсорбат при перемещении адсорбента сверху вниз все более и более обогащается компонентами тяжелой фракции. С нижней распределительной тарелки адсорбент вместе с адсорбатом, состоящим в основном из компонентов тяжелой фракции, поступает в нагреватель 2, в котором адсорбент нагревается и тяжелая фракция десорбируется.

Для облегчения десорбции в нижнюю часть аппарата подается водяной пар. Тепло для нагрева адсорбента и десорбции подводится греющим агентом, например водяным паром, поступающим в межтрубное пространство нагревателя 2. Десорбированная тяжелая фракция частично отводится с нижней распределительной тарелки как целевой продукт, а частично в качестве внутреннего циркулирующего потока через трубки распределительной решетки направляется в зону ректификации для контактирования с адсорбентом. Для повышения чистоты верхнего и нижнего продукта в средней части зоны ректификации отводится промежуточная фракция.

Нагретый адсорбент по пневмоподъемнику 8 направляется в бункер 7, откуда после отделения транспортирующего газа поступает в холодильник 6.

При наличии в исходном газе компонентов, отличающихся высокой адсорбционной способностью и потому трудно десорбируемых, последние накапливаются в циркулирующем адсорбенте, что может привести к значительному снижению его активности. Для поддержания активности адсорбента на постоянном уровне в схему установки включается реактиватор 9, через который циркулирует часть адсорбента. В реактиваторе создаются более жесткие условия десорбции (более высокая температура, повышенный расход водяного пара, окислительная регенерация и т.п.).

Использование отдельного аппарата (реактиватора), в котором поддерживаются более жесткие условия десорбции для части циркулирующего адсорбента, в ряде случаев экономически более выгодно, чем создание таких же условий в нагревателе для всего потока адсорбента. В этом случае необходимо значительно увеличить размеры нагревателя и расход греющего агента и водяного пара для десорбции.

Подобный метод разделения газовой смеси получил название гиперторбции.

Адсорберы с псевдооживленным слоем адсорбента позволяют также осуществлять непрерывный процесс адсорбции. В этом случае в качестве адсорбента используются мелкие гранулы (обычно не более 500 мкм). Конструктивно адсорбер может иметь один или несколько кипящих слоев,

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

обеспечивающих контакт фаз в противотоке (ступенчато-противоточный адсорбер). В таком адсорбере на специальных контактных устройствах (тарелках) осуществляется взаимодействие между газом и порошкообразным адсорбентом, в результате чего адсорбент переводится в состояние псевдооживления. Адсорбент, двигаясь сверху вниз через переточные устройства, передается с одной контактной ступени на другую. Газ движется в аппарате противотоком снизу вверх. Для отделения из газового потока частичек адсорбента перед выходом из адсорбера газ направляют в циклоны. В аппаратах с псевдооживленным (кипящим) слоем адсорбента можно интенсифицировать процесс массопередачи при адсорбции за счет уменьшения размера гранул и более интенсивного обновления их контактной поверхности.

Схема адсорбера с псевдооживленным слоем адсорбента: 1 — корпус; 2 — контактная тарелка; 3 — переточное устройство; 4 — циклон; 5 — люк-лаз
 Потоки: I — исходный газ; II — регенерированный адсорбент; III — отработанный газ; IV — отработанный адсорбент

На рисунке показана схема адсорбционной установки, предназначенной для извлечения углеводородов из газов. В адсорбере / происходит поглощение, а в адсорбере // за это же время—десорбция, сушка и охлаждение. Из адсорбера / газ поступает в распределительную линию. На схеме показан цикл десорбции в адсорбере //, поэтому задвижки а и б открыты и в адсорбер поступает водяной пар. Отогранные углеводороды вместе с водяными парами поступают в конденсатор 1, где конденсируется большая часть водяных паров; образующаяся при этом вода отделяется в сепараторе 2, а пары углеводородов с оставшимся небольшим количеством водяного пара конденсируются в конденсаторе 3. Вода отделяется в сепараторе 4; из сепаратора углеводороды направляются в сборник, а неконденсирующиеся пары—на компрессию для перевода их в конденсат.

После окончания десорбции задвижки а и б закрывают, открывают задвижки б, г, д и пускают в ход газодувку 5. Перед этим подается водяной пар в подогреватель б; нагреваясь в нем, газ поступает в адсорбер // через задвижки в и г. Выходя из адсорбера // через задвижку д, газ попадает в конденсатор 7 и далее засасывается газодувкой 5. Через некоторое время, когда из адсорбера // будет вытеснен оставшийся в нем после десорбции водяной пар и сконденсирован в конденсаторе 7, задвижку е закрывают и начинается циркуляция газа: через газодувку, подогреватель б, адсорбер //, конденсатор 7 и снова газодувку. Поглощаемая газом в адсорбере // влага конденсируется в конденсаторе 7. После окончания сушки прекращают подачу пара в подогреватель б и газ направляется мимо него; при этом начинается цикл охлаждения адсорбера //. По его окончании газодувку 5 выключают, а задвижки переключают для перевода адсорбера //на поглощение, а адсорбер / на десорбцию.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

2.2. Процесс десорбции при Адсорбции

Для выделения поглощенных при адсорбции компонентов с целью направления их на дальнейшую переработку применяется процесс десорбции. В тех случаях, когда в газовом потоке или в растворе, проходящем через слой адсорбента, концентрации (парциальные давления) адсорбируемых компонентов ниже равновесных, данные компоненты будут покидать поверхность адсорбента и переходить в газовый (жидкостный) поток, т. е. десорбироваться. Это будет происходить до тех пор, пока не установится новое состояние равновесия.

На промышленных адсорбционных установках необходимо производить регенерацию адсорбента с целью восстановления его адсорбционной способности. Поэтому после окончания стадии адсорбции осуществляется стадия десорбции поглощенных компонентов из адсорбента.

Процесс регенерации адсорбента (десорбция) может быть осуществлен следующими основными способами.

1. Вытеснение поглощенных компонентов с поверхности адсорбента другим веществом, обладающим более высокой адсорбируемостью, с последующим его выделением из адсорбента, которое не вызывает затруднений. Так, например, при адсорбционном разделении смеси углеводородных газов в качестве десорбирующего агента можно использовать водяной пар. При поглощении адсорбентом водяного пара последний вытесняет углеводороды и занимает их место. При этом водяной пар конденсируется, происходит выделение теплоты конденсации, что способствует десорбции, так как повышается температура процесса. Для полного восстановления активности адсорбента по окончании десорбции углеводородов его необходимо вначале освободить от поглощенной влаги, т.е. высушить, а затем охладить до температуры, при которой протекает процесс адсорбции. При адсорбционном разделении жидких углеводородных смесей в качестве десорбирующего агента могут быть использованы различные органические жидкости, обладающие более высокой адсорбционной способностью, по сравнению с поглощаемыми компонентами, например, низкомолекулярные ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилолы) или их смеси с полярными растворителями (спиртами, кетонами). В зависимости от типа применяемого десорбирующего агента используются те или иные методы его удаления из адсорбента.

2. Вытеснение адсорбированных компонентов веществом, обладающим меньшей адсорбируемостью (неполярные растворители). В этом случае процесс десорбции осуществляется за счет нарушения состояния равновесия между адсорбатом и протекающим через слой адсорбента раствором и обуславливается меньшей концентрацией данных компонентов в растворе, чем соответствующая условию равновесия с адсорбатом. Например, при

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

адсорбционном разделении различных нефтепродуктов десорбирующим агентом может быть бензиновая фракция, отличающаяся по температурным пределам кипения от исходной смеси, что позволяет в дальнейшем отделить эту бензиновую фракцию от десорбированных компонентов простой перегонкой или ректификацией.

3. Испарение адсорбированных компонентов при нагреве адсорбента или при понижении общего давления в системе либо парциального давления адсорбированных компонентов. Такой метод десорбции может быть использован при разделении смесей сравнительно летучих компонентов.

4. Окислительная регенерация, при которой адсорбированные компоненты удаляют из адсорбента путем их сжигания. Этот метод применяют в тех случаях, когда адсорбированные вещества отличаются весьма высокой адсорбционной способностью и удаление их изложенными выше способами практически невозможно. К этому способу регенерации адсорбента прибегают в тех случаях, когда адсорбированные компоненты не являются целевыми и их потеря в виде продуктов сгорания допустима по экономическим и экологическим соображениям. Примером может служить удаление асфальто-смолистых веществ с поверхности адсорбента.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

2.3. Адсорбция с неподвижным слоем адсорбента

Наиболее широко в настоящее время распространен в промышленности периодический метод адсорбции с неподвижным слоем адсорбента. Адсорбция проводится за четыре операции (циклы): поглощение (адсорбция) углем газа из смеси, отгонка его из угля (десорбция), сушка угля и охлаждение. После охлаждения адсорбер снова включается на поглощение. Таким образом, для непрерывного поглощения необходимо иметь несколько адсорберов, которые поочередно включаются на поглощение. Обычно установки состоят из двух, трех или четырех адсорберов.

Схема четырехадсорбционной установки приведена на рисунке. Природный газ, содержащий сернистые соединения, подается по трубопроводу через два входных сепаратора С1 и С2 в распределительный коллектор адсорберов. Сепараторы предназначены для отделения из потока сырьевого газа капельной жидкости, уносимой с газом из предшествующих отделений сероочистки и осушки газа. Из коллектора газ поступает в два параллельно работающих адсорбера, находящихся на стадии очистки сверху вниз. Для охлаждения и регенерации используется один и тот же поток газа, который отбирается из коллектора очищенного газа. Газ охлаждения после адсорбера с температурой 40-300 °С подается в трубное пространство теплообменников Т1, Т2 типа "газ - газ" и затем с температурой 170 °С - в печи подогрева П1, П2. Теплообменники Т1, Т2 предназначены для частичной рекуперации тепла газов регенерации, а также для поддержания постоянной температуры газа перед печами подогрева и воздушными холодильниками ВХ1, ВХ2. Из печи нагретый газ поступает снизу вверх в адсорбер, подлежащий регенерации, затем с температурой 40-320 °С направляется в трубное пространство теплообменников Т1, Т2, где охлаждается до температуры ~170 °С, откуда подается в аэрохолодильники ВХ1, ВХ2, сепараторы С1, С2 газов регенерации и далее в коллектор газов регенерации.

По методу утилизации газов регенерации промышленные установки сероочистки можно разделить на три типа:

- установки с открытым циклом, когда газ регенерации используется в качестве топливного газа или, пройдя систему очистки и осушки, подается в газопровод очищенного газа;
- установки с закрытым циклом, когда газ регенерации подвергается очистке и затем возвращается в поток очищаемого газа;
- установки с замкнутым контуром газов регенерации, когда газ регенерации после очистки и осушки вновь используется для регенерации цеолит.

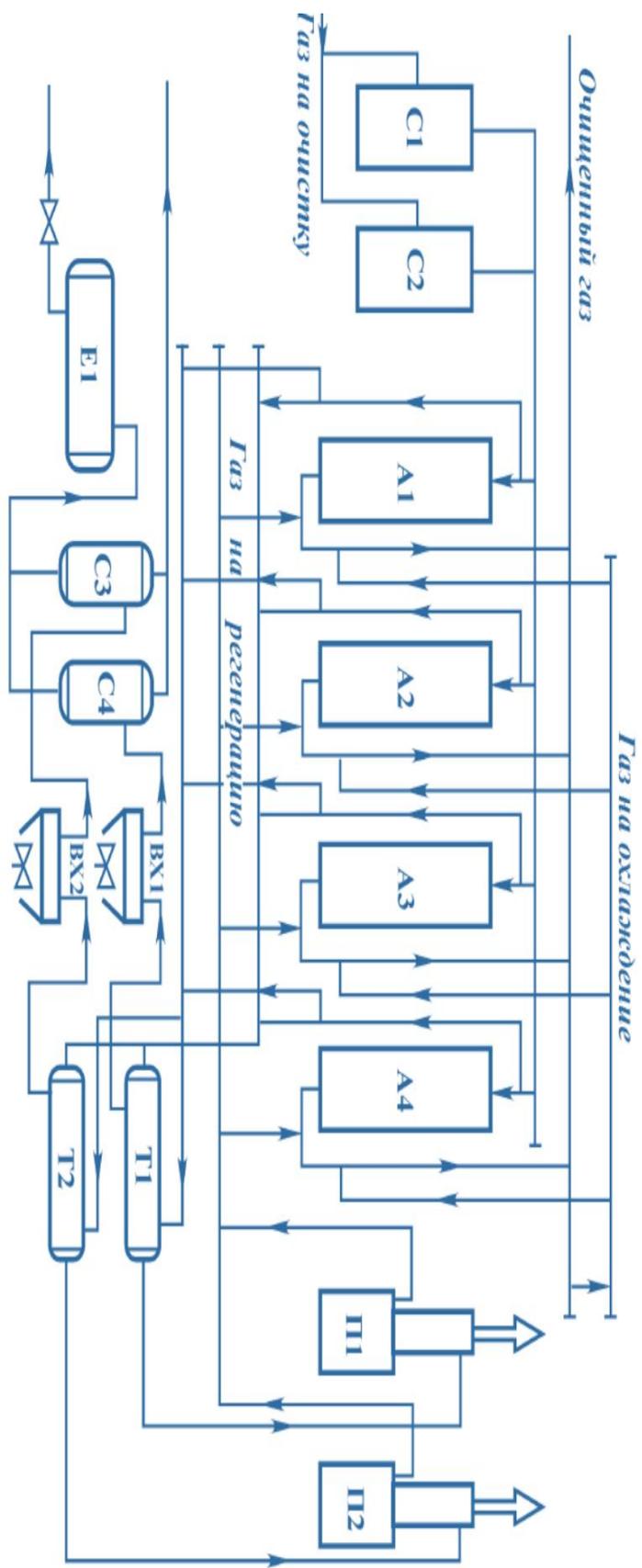
Адсорбционная установка с открытым циклом для очистки природного газа от меркаптанов сооружена компанией "El Paso Natural Gas".

Производительность установки 5,7 млн. м³ газа в сутки. Содержание

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

меркаптанов в газе до и после очистки 137 мг/м^3 и $1,37 \text{ мг/м}^3$ соответственно. Газ поступает на очистку с давлением $5,27 \text{ МПа}$, температура адсорбции $40 \text{ }^\circ\text{C}$, регенерации 320°C , длительность стадий: адсорбции 12 ч, регенерации 8 ч, охлаждения 4 ч.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				



Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					

Используются два горизонтальных аппарата диаметром 1,83 м и длиной 14 м. Газ регенерации используется в качестве технологического топлива. Установка подобного типа работает на ПО "Куйбышев-бурмаш". Она предназначена для очистки природного газа от сернистых соединений перед использованием природного газа для приготовления контролируемых атмосфер. Производительность установки 3000 м³/ч, концентрация сульфида водорода в очищаемом газе 5-7 мг/м³, меркаптанов 20-36 мг/м³, содержание сернистых соединений в очищенном газе не более 1 мг/м³. Газ поступает на очистку с давлением 3-6 атм, температура адсорбции 40 °С, регенерации 320 °С. Длительность стадий: адсорбции 24 ч, регенерации 16 ч, охлаждения 8 ч. Используются два вертикальных адсорбера диаметром 1,4 м и высотой 4 м. Третий адсорбер - резервный. Газ регенерации в количестве 200 м³/ч с помощью эжектора подмешивается в поток природного газа, поступающего на заводскую ТЭЦ. В работе приведена схема адсорбционной установки, в которой газ регенерации, пройдя установку аминовой очистки и гликолевой осушки, подается в магистральный газопровод.

В промышленных адсорбционных установках с закрытым циклом система жидкостной очистки газов регенерации рассчитывается с учетом пиковых концентраций сернистых соединений (см. предыдущую главу). Для сглаживания пиков обычно сооружают несколько технологических ниток адсорбционной очистки газа, которые работают в параллельном режиме со сдвигом во времени.

В качестве примера установки с закрытым циклом можно привести установку, разработанную компанией "Engineers and Fabricator". Производительность установки 2,8 млн. м³ газа в сутки. В схему включен дополнительный скруббер, орошаемый абсорбционным маслом. Стоимость установки, включая 53 т цеолитов, составляет 1 млн. дол. Расчетная стоимость аминовой установки аналогичной мощности оценивается на уровне 1,5 млн. дол. без учета стоимости осушающей установки, которая сопутствует мокрой очистке. Техничко-экономические расчеты приведены применительно к газу, содержащему 60 % CO₂ и 0,5-0,7 г/м³ сульфида водорода и меркаптанов.

Для адсорбционных установок небольшой мощности применяется полуоткрытый цикл регенерации. Этот вариант характеризуется тем, что в период регенерации часть газа с пиковыми концентрациями сернистых соединений сжигают на факеле, а остальной газ регенерации возвращают в поток очищаемого газа.

Потери газа в таких системах могут быть сведены до уровня 5 % от объема перерабатываемого газа. Используется также следующая последовательность операций на стадии регенерации. Регенерационный газ постоянно циркулирует через адсорбер до тех пор, пока слой адсорбента не нагреется до требуемой температуры. Затем осуществляется конечная

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

сероорганических соединений целесообразно применять способ их гидрирования с последующим удалением образовавшегося сульфида водорода жидкостным хемо-сорбционным способом. Процесс гидрирования проводят на алюмокобальт-молибденовом катализаторе при $t = 350 + 400$ °С и объемной скорости газа 800-1000 ч⁻¹.

Для повышения скорости реакции гидрирования необходим двойной - тройной избыток водорода по сравнению со стехио-метрическим количеством. После очистки газы регенерации направляются на конверсию для получения водорода, т.е. установка сероочистки органично вписывается в общий производственный цикл. Расход водорода в таком процессе определяется по реакциям гидрирования сероорганических соединений в зависимости от их концентрации и состава.

Способы очистки тазов регенерации цеолитов

Извлекаемые примеси	Способ очистки, сорбенты, катализаторы
H ₂ S, CO ₂	Абсорбция водными растворами хемосорбентов: алка-ноламинов, карбонатов и фосфатов щелочных металлов и др.
H ₂ S, CO ₂ с примесями COS и RSH	Абсорбция смешанными поглотителями, включающими алканоламин, физический растворитель и воду (например, процесс "Сульфинол")
RSN с примесями H ₂ S, CO ₂ , COS	Абсорбция физическим растворителем (например, процесс "Селексол") с последующей ректификацией кислых газов
	Абсорбция H ₂ S, CO ₂ водным раствором амина с последующим извлечением COS и меркаптанов водным раствором щелочи (возможно с органическими добавками)
	Гидрирование COS и RSH на алюмокобальтмолибде-новом катализаторе с последующим извлечением H ₂ S и CO ₂ водным раствором амина
	Гидролиз COS и термическое разложение RSH на алюмосиликатных катализаторах с последующим извлечением H ₂ S и CO ₂ водным раствором амина

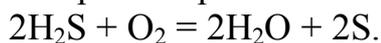
Для газоперерабатывающих заводов метод гидрирования неприемлем в связи с необходимостью строительства установки получения водорода и большим его расходом.

Для очистки газов регенерации цеолитов от меркаптанов применительно к условиям газоперерабатывающих заводов предложено два

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					

метода. Первый основан на термokatалитическом разложении меркаптанов до сульфида водорода на высококремнеземистых цеолитовых катализаторах. Во втором методе используется реакция меркаптанов с элементарной серой с образованием полисульфидов и сульфида водорода. Оба способа находятся в стадии опытной проверки на ПО "Оренбурггаззавод".

Для очистки газов регенерации от сульфида водорода представляет интерес процесс прямого окисления. В газы регенерации подмешивается воздух в количестве, необходимом для окисления сульфида водорода до элементарной серы:



Затем паровоздушная смесь проходит через слой катализатора при $t = 250\text{ }^\circ\text{C}$. После охлаждения газов образовавшаяся сера отделяется в сероуловителе.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

2.4. Описание лабораторной установки адсорбционной очистки газа от кислых примесей цеолитами

Адсорбционные методы очистки газов основаны на селективном извлечении кислых компонентов твердыми поглотителями – адсорбентами. В том случае, когда извлекаемый компонент удерживается адсорбентом (активированный уголь, цеолиты) только физическими силами, имеет место *физическая адсорбция*. Если извлекаемый компонент вступает с адсорбентом (оксиды железа, цинка, молибдена) в химическое взаимодействие говорят о *химической адсорбции*.

Эффективные адсорбенты диоксида углерода — *цеолиты*. Молекулы диоксида углерода достаточно малы. Их диаметр составляет около 0,31 нм (3,1 А), что позволяет им проникать во внутреннюю структуру большинства цеолитов. Десорбцию поглощенных компонентов осуществляют понижением давления и повышением температуры.

Молекулярные сита (цеолиты) – это синтетические кристаллические алюмосиликаты, в каркасе которых кремний и алюминий находятся в тетраэдрической конфигурации, и содержащие щелочные металлы. Строение цеолитов представлено системой регулярных каналов и сообщающихся плоскостей с размером пор от 0,3 до 1,0 нм в зависимости от типа цеолита. В ходе процесса адсорбции примеси, присутствующие в газе, должны продиффундировать через поры и поверхности внутренних плоскостей. В промышленности применяются цеолиты, сформированные в виде таблеток или шариков размером около 3 мм.

По сравнению с другими адсорбентами молекулярные сита имеют большую поглотительную способность, менее подвержены загрязнению и закоксовыванию, лучше извлекают примеси и, благодаря наличию регулируемого размера пор, обладают уникальной селективностью адсорбции в зависимости от размеров молекул. Их использование позволяет снизить удельный объем адсорбента, работать при более низком перепаде давлений на слое адсорбента, исключить потери газа из-за адсорбции ряда его компонентов, обеспечить более длительную и надежную работу установки.

Наиболее часто для адсорбции используют цеолит СаА. Процесс идет под давлением 1,7-5 МПа. Вместе с диоксидом углерода цеолиты поглощают и пары воды. Поэтому одновременно с очисткой газов от диоксида углерода происходит их осушка.

Цель работы

Вариант 1

Исследование процесса адсорбции кислых примесей газа (в частности CO_2) цеолитами при заданных преподавателем условиях (температура, количество адсорбента, концентрация CO_2 в исходном газе, время

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

проведения опыта), оценка эффективности действия адсорбента при заданных условиях.

Вариант 2

Изучение влияния природы адсорбента (цеолиты различных марок – CaX, NaA, CaA, NaX, активированный уголь и др.) и параметров процесса на степень извлечения CO₂. Установка позволяет оценить влияние на процесс извлечения CO₂ из газа следующих факторов: тип используемого адсорбента; количество адсорбента; время контакта адсорбент/газ; содержание CO₂ в исходном газе; температура адсорбции.

Установка адсорбционной очистки

Принципиальная схема установки приведена на рисунке 2. Основными узлами установки являются: адсорбер 1 с водяной рубашкой для поддержания необходимой температуры с помощью термостата 3; насос 2 для подачи адсорбента и узел приготовления газовой смеси заданного состава - баллоны со сжатыми газами 6, редукторы 12, реометры 4.

Модельный газ готовится путем дозированной подачи примеси (CO₂) в поток газа - носителя азота.

Порядок проведения эксперимента.

Открывают вентиль на баллоне с азотом и с помощью редуктора и реометра устанавливают расход азота. Затем в поток азота подают CO₂. Предварительно реометры 4 для подачи азота и CO₂ калибруют по воздуху (азоту), подбирая соответствующие капилляры 11. Скорость подачи газов контролируют визуально с помощью барботера с водой 10. Одновременно включают термостат 3 и устанавливают регулятор нагрева на необходимую температуру.

Включают хроматограф (в соответствии с инструкцией на эксплуатацию хроматографа) и анализируют газ, на содержание CO₂ перед поступлением в адсорбер, при необходимости корректируя количество подаваемого диоксида углерода с помощью газового редуктора 12 и реометра 4 в соответствии с заданием преподавателя.

После того как установится заданный расход газа и температура в адсорбере, отбирают на анализ пробу газа на входе в адсорбер и на выходе. Через 20-30 минут стабильной работы установки снова отбирают на анализ пробу газа на входе в адсорбер и на выходе; для достоверности результатов повторяют анализ с отбором новых проб не менее 3-х раз.

Анализ содержания CO₂ в газе

Содержание CO₂ в газе до и после адсорбции определяют на хроматографе «Кристаллюкс-4000» с детектором по теплопроводности при следующих условиях: колонка металлическая 3000 мм; твердая фаза – активированный уголь;

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

температура:

- в колонке – 160°C ;

- в испарителе – 165°C ;

газ-носитель – водород;

скорость газа-носителя – 50мл/мин

Результаты анализа состава газа, полученные при его хроматографировании, вносят в табл. 4 и 5.

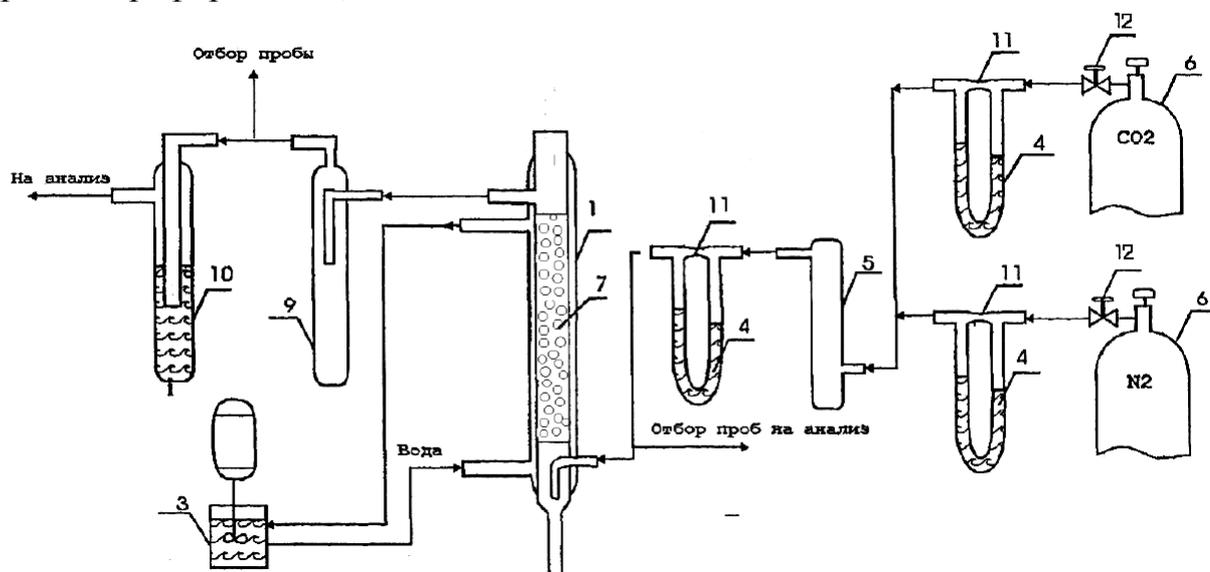


Рис. 2. Принципиальная схема лабораторной адсорбционной установки
1-адсорбер; 2-насос; 3-термостат; 4-реометры; 5-смеситель; 6-баллон; 7-насадка; 8-градуированный приемник; 9-отбойник; 10-барботер; 11-капилляры; 12-газовый редуктор.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

Таблица 4

Состав газа до очистки

Компонент	Площадь, S, мВ/мин	Поправочный коэф., K	S _i , S мВ x K	% об. S _i /∑S _i
Азот		2,04		
СО ₂		1,77		
			∑ S _i	100

Таблица 5

Состав газа после очистки

Компонент	Площадь, S, мВ/мин	Поправочный коэф., K	S _i , S мВ x K	% об. S _i /∑S _i
Азот		2,04		
СО ₂		1,77		
			∑ S _i	100

Пример обработки экспериментальных данных

В журнал в виде таблицы заносятся исходные данные – условия опыта и результаты наблюдений

- дата _____
- адсорбент цеолит марки СаА
- начальное содержание СО₂ в газе, % об. 2,0; 1,9; 2,1; ср. 2,0
- температура адсорбции, °С 40
- начальное давление азота и СО₂ в баллоне, кг/см² 50
- скорость подачи азота, л/час 8,0
- скорость подачи СО₂, л/час; 0,5
- количество адсорбента, г
- конечное содержание СО₂ в газе, % об 1,1; 1,2; 1,0; ср. 1,0

Степень извлечения СО₂ в % рассчитывают, учитывая соотношение содержания СО₂ в газе после адсорбции к содержанию СО₂ до адсорбции. В данном случае степень извлечения СО₂ составляет:

$$100 - 1,0/2,0 \times 100 = 50\%$$

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

Если студент выполняет лабораторную работу по II варианту, т.е. по заданию преподавателя проводит исследование влияния параметров на эффективность извлечения CO_2 при использовании определенного адсорбента, то он строит график зависимости степени извлечения CO_2 от изменения изучаемого параметра (температуры адсорбции, содержания CO_2 в исходном газе и др.) и определяет оптимальное значение этого параметра в исследуемом интервале его значений.

При изучении эффективности действия различных адсорбентов студент сравнивает степень извлечения CO_2 при их использовании в одинаковых условиях и определяет наиболее эффективный адсорбент при заданных преподавателем параметрах.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

3. Расчетная часть

3.1. Расчет адсорбера и адсорбционной установки очистки газов от кислых компонентов

Основные определяемые величины: диаметр аппарата и высота слоя сорбента при заданном времени процесса.

1) допустимая фиктивная скорость газа (скорость в свободном сечении)

$$\omega_0 = (0,016 \cdot r \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot d_3 \cdot g / \rho_{\text{Г}})^{0,5}$$

d_3 – эквивалентный диаметр гранул, м,

$\rho_{\text{Г}}$ – плотность газа, кг/м³,

$$\omega_0 \leq 0,3 \text{ м/с.}$$

Пористая структура адсорбентов

Пористая структура оказывает значительное влияние на адсорбционные свойства сорбента.

Поверхность сорбента включает в себя:

- внешнюю поверхность, зависящую от количества макропор и составляет 0,5 ÷ 2,0 м²/ч, т.е. 2,0 ÷ 0,5 % от общей поверхности;

- внутреннюю поверхность, образующуюся за счет стенок микропор.

Она может быть равна 500 ÷ 1000 м²/ч.

Поверхность пористого тела:

$$S = N_A \cdot a_m \cdot S_m, \text{ где}$$

N_A – число Авагадро,

a_m – величина адсорбции, соответствующая покрытию поверхности сплошным монослоем адсорбированных молекул,

S_m – площадка, занимаемая одной адсорбированной молекулой,

$$S_m = 1,53 \cdot V^{2/3}, \text{ V – мольный объем адсорбированного вещества.}$$

$$S_{mN_2} = 1,62 \text{ м}^2.$$

Суммарную пористость твердого тела можно определить по его плотности.

Различают истинную ($\rho_{\text{ист}}$), кажущуюся ($\rho_{\text{каж}}$) и насыпную ($\rho_{\text{нас}}$) плотность пористых тел.

Истинная – масса единицы объема плотноупакованного тела (не содержащего пор).

Кажущаяся – масса единицы объема пористого тела, включающая объемы пор, но без учета объема пустот между зернами.

Насыпная – масса единицы объема пористого тела, включающая объем плотного вещества, объем пор и объем пустот между зернами.

Суммарный объем пор:

$$V_{\Sigma} = 1/\rho_{\text{каж}} - 1/\rho_{\text{ист}}, \text{ г/см}^3.$$

Активный уголь $\rho_{\text{ист}} = 1750 \div 2100$ $\rho_{\text{каж}} = 500 \div 1000$ $\rho_{\text{нас}} = 200 \div 600$

Мягко зернистый силикогель $\rho_{\text{ист}} = 2100 \div 2300$ $\rho_{\text{каж}} = 1300 \div 1400$ $\rho_{\text{нас}} = 800 \div 850$

Крупно зернистый силикогель $\rho_{\text{ист}} = 2100 \div 2300$ $\rho_{\text{каж}} = 750 \div 850$ $\rho_{\text{нас}} = 500 \div 600$

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

Цеолиты $\rho_{\text{ист}} = 2100 \div 2300$ $\rho_{\text{каж}} = 1200 \div 1400$ $\rho_{\text{нас}} = 600 \div 800$

Расчет адсорбционных установок

Заключается в определении конструктивных размеров (диаметр, высоту), объема адсорбента, времени защитного действия гидравлического сопротивления и некоторых других величин.

$$1. \quad D_a = \sqrt{\frac{4V_{\Gamma}}{\pi\omega_2}}$$

Где V_{Γ} – объемный расход пороговой смеси $\text{м}^3/\text{с}$,

ω_2 – скорость, отнесенная к свободному сечению аппарата, $\text{м}/\text{с}$.

Для аппаратов с неподвижным слоем $\omega_2 = 0,25 \div 0,3$ $\text{м}/\text{с}$.

2) Объем адсорбента для разовой загрузки в аппарат

$$V_{\text{ад}} = \frac{(V_{\Gamma} \cdot n_y)}{\beta_y}$$

n_y – число единиц переноса;

β_y – объемный коэффициент массопереноса, $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{с}$.

$$n_y = \int_{y_k}^{y_n} \frac{d_y}{y - y^x} \quad \text{или} \quad n_x = \int_{x_h}^{x_k} \frac{d_x}{x^x - x} = f \cdot M_1 \cdot M_2$$

y_n, y_k – начальная и конечная концентрация адсорбтива в парогазовой смеси,

x_n, x_k – начальная и конечная концентрация адсорбата в твердой фазе, $\text{кг}/\text{м}^3$,

x, y – текущие концентрации адсорбата в твердой и адсорбтива в парогазовой фазе, $\text{кг}/\text{м}^3$,

x^x, y^x – равновесные концентрации адсорбата, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Уравнение можно решить методом графического интегрирования.

Задавшись рядом значений « y » строим график в координатах $1/(y - y^*)$ — y , а затем, измерив площадь криволинейной трапеции находим величину

искомого интеграла с учетом масштабов: $M_1 = l_1/h_1$ и $M_2 = l_2/h_2$,

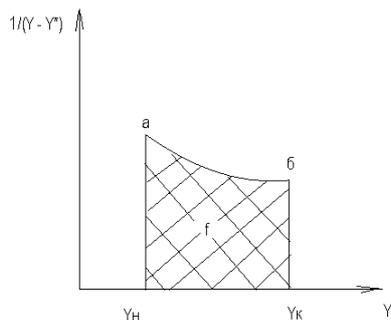
l_1 – значение ординаты $1/(y - y^*)$,

h_1 – значение этой же ординаты в мм,

l_2 – значение абсциссы на графике y ,

h_2 – значение этой же абсциссы в мм.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				



Для построения графика, используемого для получения числа единиц переноса, необходимо определить значение y^x (x^x). Для этого требуется построить изотермы адсорбции (линия 2) и рабочей линии процесса (линия 1). Изотерма адсорбции (кривая равновесия) при $t = \text{const}$ служит основной характеристикой процесса $a_0 = f(p)$,

a_0 – статическая активность,

p – парциальное давление.

Между концентрацией адсорбируемого вещества в газовой фазе и его существует уравнение Клапейрона:

$$\bar{C} = \frac{P}{RT}, \text{ кг/м}^3.$$

Изотерму адсорбции строят на основании экспериментальных (либо справочных) данных. Для построения рабочей линии необходимо знать координаты минимум двух точек, отвечающих рабочим условиям процесса.

Например, если заданы y_n , y_k и x_n (начальные концентрации извлекаемого компонента в твердой фазе), то конечную концентрацию адсорбента в твердой фазе x_k определяем из уравнения:

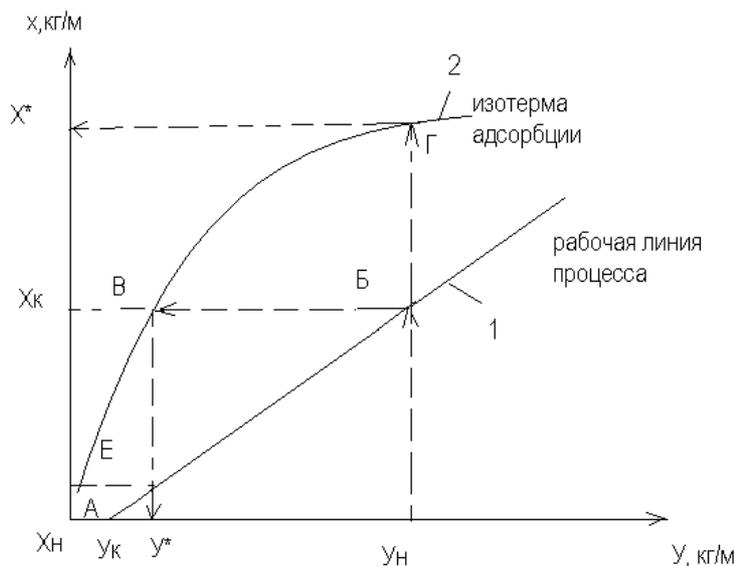
$$V_{\Gamma}(y_n - y_k) = V_{ad}'(x_k - x_n) \rightarrow x_k = \frac{V_{\Gamma}}{V_{ad}'} \cdot (y_n - y_k) + x_n$$

V_{ad}' – объем адсорбента, насыщаемый адсорбтивом в единицу времени (величина работающего слоя).

$$V_{ad}' = \frac{V_{\Gamma}(y_n - y_k)}{x^* - x_n}, \text{ м}^3/\text{с},$$

Значение x^* (равновесная концентрация адсорбата в твердой фазе), соответствующее заданному значению «у», определяют по изотерме адсорбции. Зная координаты (·)А ($x_n; y_k$) и (·)Б ($x_k; y_n$) наносим их на график и соединяем прямой линией.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					



Для определения x^* , y^* задаемся значениями «у» в интервале $u_n - u_k$. Если перпендикуляр из начальной (\cdot) u_n продолжить до пересечения с равновесной линией 2 до (\cdot) Γ и спроектировать ее на ось x , то получим равновесное соединение адсорбата в твердой фазе x^* при заданном значении u_n . Если изотерма адсорбции неизвестна, то ее можно построить по изотерме адсорбции стандартного вещества. Значение величин адсорбции пересчитывают по формуле:

$$x_2^* = x_1^* \cdot \frac{V_1}{V_2} = x_1^* \cdot \frac{1}{\beta}$$

x_1^* - ордината изотермы стандартного вещества (обычно бензола), кг/кг,

x_2^* - ордината определяемой изотермы, кг/кг,

V_1, V_2 - мольные объемы стандартного и исследуемого вещества в жидком состоянии,

$$V = \frac{M}{\rho_{ж}}$$

M - мольная масса вещества, кг/моль,

β - коэффициент аффиктивности,

$$\beta = \frac{V_2}{V_1}, \beta_{бензол} = 1,$$

$\rho_{ж}$ - плотность вещества в жидком состоянии, кг/м³.

Пример – рассчитать адсорбер для улавливания паров диэтилового эфира из воздуха: $V_{\Gamma} = 2000 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,555 \text{ м}^3/\text{ч}$, $t_b = 20^\circ\text{C}$, $P = 760 \text{ мм рт ст}$, $u_n = 0,006 \text{ кг/м}^3$, $u_k = 3 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3$.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					

В качестве адсорбента выбираем активный уголь марки AP – A, $d_3 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

$$\text{Принимаем } \omega_2 = 0,28 \text{ м/с, тогда } D_a = \sqrt{\frac{2000}{3600 \cdot 0,785 \cdot 0,28}} = 1,6 \text{ м}$$

$$S_a = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(3,14 \cdot 1,6^2)}{4} = 2,01 \text{ м}^2$$

Для построения изотермы адсорбции используем монограмму для определения давления насыщенного пара некоторых веществ, по которой определяем парциальное давление веществ по формуле:

$$\lg P_2 = \lg P_{S,2} - \beta \frac{T_1}{T_2} \cdot \lg \frac{P_{S,1}}{P_1} \quad (1)$$

где P_1, P_2 – парциальное давление стандартного и исследуемого вещества, мм рт ст (Па),

$P_{S,1}$ – давление насыщенного пара стандартного вещества при абсолютной температуре (мм рт ст),

$P_{S,2}$ – давление насыщенного пара исследуемого вещества.

При расчете точек изотермы исследуемого вещества координаты x_1^* и P_1 берутся по кривой стандартного вещества, значения $P_{S,1}, P_{S,2}$ – из таблиц давления насыщенного пара. P_2 – вычисляются по формуле (1).

Выразив парциальное давление через соответствующие концентрации, получим:

$$\lg y_2^* = \lg y_{H2} - \beta \frac{T_1}{T_2} \cdot \lg \frac{y_{H1}}{y_{H2}} \quad (2)$$

Коэффициент аффиктивности для диэтилового эфира (таблица 36, Кузнецов) $\beta = 1,09$.

1) по таблице 25 (равновесные данные по адсорбции паров бензола и их смеси с воздухом на активном угле) $y_1^* = 0,000854 \text{ кг/м}^3$, $x_1^* = 109,0 \text{ кг/м}^3$,

2) по данным диаграммы (стр. 115) определяем координаты точек изотермы адсорбции диэтилового эфира, $P_{S,1}$ – для бензола – 75 мм рт ст (9997,5 Па), $P_{S,2}$ – для диэтилового эфира – 442 мм рт ст (58918,6 Па).

3) Объемный коэффициент массопередачи:

$$K_y = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{\beta_y} \right) + \left(\frac{m}{\beta_x} \right) \right]}$$

β_y, β_x – объемный коэффициент массопередачи в газовой и твердой фазе соответственно, с^{-1} ,

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

m – коэффициент распределения (средний $tg \alpha$ наклона линии равновесия).

$$m = \frac{y_n}{x_k} \quad \frac{m}{\beta_x}$$

Поскольку x_k - обычно очень мал, то величиной $\frac{m}{\beta_x}$ пренебрегаем.

На основании этого $K_y \approx \beta_y$ и зависит от гидродинамической обстановки в аппарате, физических свойств потока.

Для ориентированных расчетов K_y используют критериальные уравнения:

$$Nu' = 0.395 \cdot Re^{0.64} \cdot Pr'^{0.33} \quad \text{при } Re > 30$$

$$Nu' = 0.725 \cdot Re^{0.47} \cdot Pr'^{0.33} \quad \text{при } Re = 2 - 30$$

$$Nu' = 0.515 \cdot Re^{0.85} \cdot Pr'^{0.33} \quad \text{при } Re < 2$$

$$Nu = \frac{\beta \cdot y \cdot d_э^2}{D}$$

где D - диффузионный критерий Нуссельта.

$D_э$ – эквивалентный диаметр зерен адсорбента, м

$$Re = \frac{\omega_2 \cdot d_э \cdot \rho_\Gamma}{\mu_\Gamma \cdot \varepsilon_n}$$

ω_2 - скорость газового потока, м/с

ε_n - порозность неподвижного слоя адсорбента,

ρ_Γ - плотность, кг/м³

μ_Γ - динамическая вязкость, Па·с

$Pr' = \frac{\mu_\Gamma}{(D \cdot \rho_\Gamma)}$ - диффузионный критерий Прандтля.

4) Высота неподвижного слоя адсорбента в аппарате

$$H_n = n_y \cdot h$$

h – высота единицы переноса,

$$h = \frac{G_\Gamma}{S_{сл} \cdot \beta_y}$$

где G_Γ – массовый расход газа, кг/с

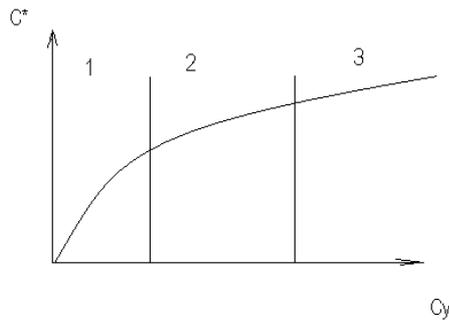
$S_{сл}$ - сечение слоя, м²

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

$$S_{cl} = \frac{\pi D_a^2}{4}$$

5) Продолжительность процесса адсорбции определяют путем решения системы, состоящей из трех уравнений:

- уравнения баланса поглощенного вещества;
- уравнения кинетики адсорбции;
- уравнение изотермы адсорбции.



1: $\frac{P}{P_s} < 0,17$ (по бензолу),

2: $\frac{P}{P_s} \approx 0,17 \div 0,5$

3: $\frac{P}{P_s} > 0,5$

Изотерма адсорбции для решения уравнений делится на три области:
1 область - линейная зависимость между концентрацией газа и количеством поглощенного вещества и условно принимается, что изотерма адсорбции подчиняется закону Генри.

Тогда продолжительность адсорбции:

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\frac{x^*}{\omega_{\Gamma} \cdot y_n} \cdot \sqrt{H_n'}} - \epsilon \sqrt{\frac{x^*}{\beta_y \cdot y_n}}$$

где y_n – начальная концентрация адсорбированного вещества, кг/м³

x^* - равновесное количество адсорбированного вещества, кг/кг

(принимается по изотерме адсорбции и умножается на насыпную плотность адсорбента).

$\frac{\kappa}{y_n}$,0	,01	,03	,05	,10	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
05													
	,84	,67	,35	,19	,97	,67	,42	,23	,07	0,10	0,27	0,46	0,68

2 область – криволинейная

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					

$$\tau = \frac{x^*}{\omega_{\Gamma} \cdot y_{\text{H}}} \left\{ H_{\text{H}} - \frac{\omega_2}{\beta_y} \left[\frac{1}{P} \ln \left(\frac{y_{\text{H}}}{y_{\text{K}}} - 1 \right) + \ln \left(\frac{y_{\text{H}}}{y_{\text{K}}} - 1 \right) \right] \right\};$$

$$P = \frac{y_{\text{H}}}{y_1^x}$$

где y_1^x - содержание вещества в газовом потоке, равновесное с количеством, равным половине вещества, максимально поглощаемого адсорбентом при данной температуре, кг/м³.

3 область- количество вещества, поглощаемого адсорбентом, достигает предела и остается постоянной

$$\tau = \frac{x^x}{\omega_{\Gamma} \cdot y_{\text{H}}} \left\{ H_{\text{H}} - \frac{\omega_2}{\beta_y} \left[\frac{1}{P} \ln \left(\frac{y_{\text{H}}}{y_{\text{K}}} - 1 \right) + \ln \left(\frac{y_{\text{H}}}{y_{\text{K}}} - 1 \right) \right] \right\}, \quad P = \frac{y_{\text{H}}}{y_1^x}$$

б) Высоту зоны массопередачи (высота рабочего слоя)

$$h_o = H_{\text{H}} \frac{\tau_{\text{нас}} - \tau_{\text{з.д}}}{\tau_{\text{нас}} - (1 - f_1)(\tau_{\text{нас}} - \tau_{\text{з.д}})},$$

$\tau_{\text{нас}}$ - время до равновесного насыщения, сек

$\tau_{\text{з.д}}$ - время защитного действия при минимальной проскоковой концентрации,

f_{Γ} - неиспользованная адсорбционная емкость, $f_1 \approx (0,5 \pm 0,02)$

7) Перепад давления в слое (формула применима, если порозность слоя $E=0,4$)

$$\Delta P = \frac{2 H_{\text{H}}}{g d \cdot \rho_{\Gamma}} \left(\frac{770 \mu_{\Gamma} G_{\Gamma}}{d} + 10 \cdot 6 G_{\Gamma}^2 \right)$$

ΔP - перепад давления в слое, кг/м³

g - 9,81 м/с²

$d_{\text{э}}$ - эквивалентный диаметр зерен, м

G - массовая скорость газа, кг/(м²·с)

Другие формулы (автор Дубинин)

1) $\Delta P = 168,5 \cdot 10^{-5} \cdot \mu_{\Gamma} \left(\omega_{\Gamma} \frac{H}{d_{\text{э}}^2} \right)$ - при $\omega_2 < 0,25$ м/с, ламинарный режим

2) $\Delta P = \frac{47,97 \cdot 10^6 \cdot \mu_{\Gamma}^{0,15} \cdot \rho_{\Gamma}^{0,85}}{(H_{\text{H}} \cdot \omega_{\Gamma}^{1,85}) / d_{\text{э}}^{1,15}}$ - переходная область

3) $\frac{\Delta P}{H_{\text{H}}} = \frac{f(\omega_2 \cdot \rho_{\Gamma})}{2 g d_{\text{э}}}$ - в слое цеолитов

$f = \frac{10 \cdot 9 \cdot 10^2}{(Re')^{0,64}}$ - для шаров, $f = \frac{3 \cdot 64 \cdot 10^2}{(Re')^{0,5}}$ - для цилиндров

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

$$Re' = \frac{\omega_r \cdot d_s}{\nu}$$

Подставив полученные значения в уравнение

$$x_2^* = x_1^* \cdot \frac{V_1}{V_2} = x_1^* \cdot \frac{1}{\beta} = \frac{109,0}{1,09} = 100 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Выразим парциальные давления через объемные концентрации по уравнению

$$y = \frac{P}{RT}$$

$$y_{n_1} = \frac{75 \text{ мм.рт.ст} \cdot 13,6 \cdot 9,81}{8310 \cdot (273 + 20)} = 0,0041 \text{ кг} / \text{м}^3$$

для бензола:

для диэтилового

$$y_{n_2} = \frac{442 \cdot 13,6 \cdot 9,81}{8310 \cdot 293} = 0,0242 \text{ кг} / \text{м}^3$$

эфира:

$$\lg y_2^x = \lg y_{n_2} - \beta \frac{T_1}{T_2} \cdot \lg \frac{y_{n_1}}{y_1} = \lg 0,0242 - 1,09 \frac{293}{293} \cdot \lg \frac{0,0041}{0,000854};$$

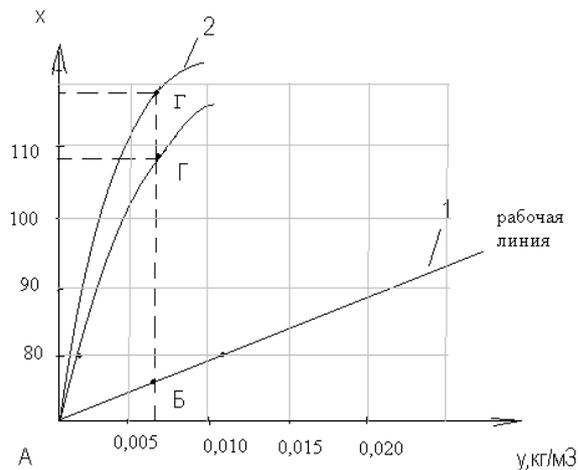
$$y_2^x = 0,004379 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Для других точек составляем таблицу и по координатам точек строим график – изотерму адсорбции (линия 2)

Исходные данные:

Точки	Бензол		Диэтиловый эфир	
	y_1^* , кг / м	x_1^* , кг / м	y_2^*	x_2^*
1	0,000854	109,0	0,004379	100,0
2	0,00256	134,3	0,0148	123,11
3	0,005125	139,8	0,0308	128,2
4	0,00939	143,0	0,0597	132,19
5	0,017060	147,3	0,1145	135,1
6	0,025610	151,2	0,01786	138,71

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					



Объем адсорбента:

$$V'_{ад} = \frac{V_{\Gamma} \cdot (y_n - y_k)}{x^* - x_n} = \frac{0,555(0,006 - 0,00003)}{104 - 0} = 3,18 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{с}$$

Здесь $x^* = x_k$, т.е. на выходе адсорбент будет полностью насыщен поглощаемым компонентом (предполагаем!)

при $y_n = 0,006 \text{ кг/м}^3$ по графику $x^* = 104 \text{ кг/м}^3$.

Фактическое количество адсорбента принимаем на 30% больше

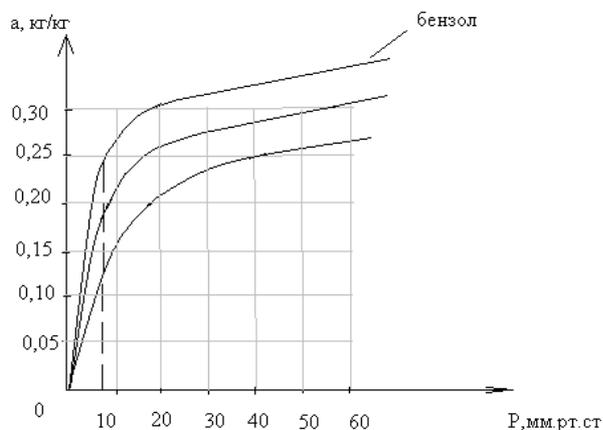
$$V'_{ад} = (3,18 \cdot 10^{-5}) \cdot 1,3 = 4,134 \cdot 10^{-5} \text{ кг} / \text{м}^3$$

3. Для определения β_y предварительно найдем

$$Re = \frac{\omega_{\Gamma} \cdot d_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma} \cdot E_n} = \frac{0,28 \cdot 0,0013 \cdot 1,21}{0,018 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3} = 61,1$$

т.к. $Re > 30$, то β_y по уравнению $N'_y = 0,395 \cdot Re^{0,64} \cdot Pr^{0,33}$

Изотерма адсорбции



По Павлову:

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					

(.) $a_1^x = 0,25 \text{ кг} / \text{кг}$, ей соответствует $P_1 = 8 \text{ мм.рт.ст.}$ Вычислим координаты соответствующих точек на изотерме диэтилового эфира

$$a_2^*(x_2^*) = a_1^*(x_1^*) \cdot \beta;$$

$$V_1 = \frac{M_6}{\rho_{ж}} = \frac{78}{879} = 0,0887 \text{ м}^3 / \text{кмоль}$$

$$V_2 = \frac{74}{714} = 0,1036 \text{ м}^3 / \text{кмоль}$$

$$\beta = \frac{V_2}{V_1} = \frac{0,1036}{0,0887} = 1,17$$

$$\Rightarrow a_2^* = a_1^* \cdot \frac{V_1}{V_2} = \frac{0,25}{78} \cdot \frac{0,0887}{0,1036} = 0,0027 \text{ кмоль} / \text{кг} \cdot 74^{\text{к}} = 0,20 \text{ кг} / \text{кг}$$

Диффузионный критерий Прандтля.

$$\text{Pr} = \frac{\mu_{\Gamma}}{(D_{20} \cdot \rho_{\Gamma})},$$

D_{20} , D_0 – коэффициенты диффузии

$$D_{20} = D_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2} \cdot \frac{P_0}{P}$$

- для температуры 20°C ,
а D_0 - при $t=0^{\circ}\text{C}$ равен $0,028 \text{ м}^2/\text{ч} = 0,0778 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сек}$

$$D_{20} = 0,0778 \cdot 10^{-4} \left(\frac{293}{273} \right) \cdot \frac{101325}{101325} = 0,0864 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{сек}$$

- для диэтилового

спирта

$$\text{Pr} = \frac{0,018 \cdot 10^{-3}}{0,0864 \cdot 10^{-4} \cdot 1,21} = 1,722$$

$Nu' = 0,395 \cdot 61,1^{0,64} \cdot 1,722^{0,33} = 6,5$, а Nu' в свою очередь равен:

$$Nu' = \frac{\beta_y \cdot d_s^2}{D}, \text{ тогда}$$

$$\beta_y = \frac{Nu' \cdot D_{20}}{d_s^2} = \frac{6,5 \cdot 0,0864 \cdot 10^{-4}}{0,0013^2} = 33,19 \text{ с}^{-1}$$

4.Высота единиц переноса.

$$h = \frac{G_{\Gamma}}{S_{cl} \cdot \beta_y};$$

$$G_{\Gamma} = V_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} (\text{м}^3 / \text{с} \cdot \text{кг} / \text{м}^3) [\text{кг} / \text{с}]$$

$$S_{cl} = S_a$$

$$h = \frac{(0,555 \cdot 1,21)}{(2,01 \cdot 33,19)} = 0,0101$$

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

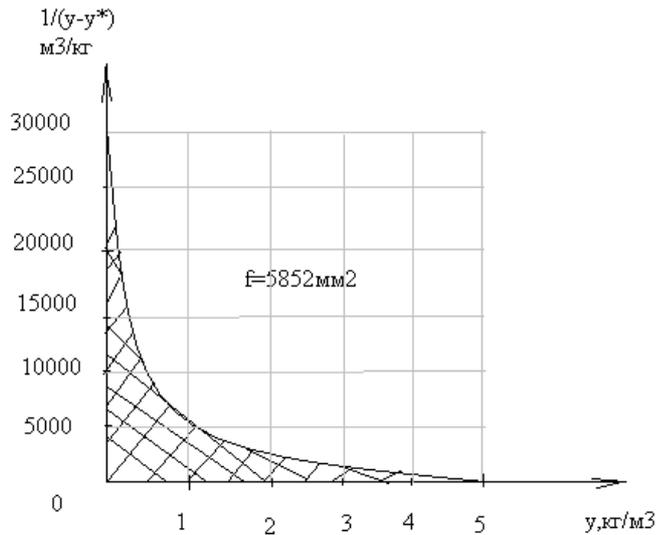
5. Число единиц переноса определяем методом графического интегрирования. Для построения рабочей линии переноса (1 линия) находим из уравнения материального баланса:

$$x_k = \frac{V_{\Gamma}}{V_{ад}} \cdot (y_n - y_k) + x_n = \frac{0,555}{4,134 \cdot 10^{-5}} (0,006 - 0,00003) + 0 = 80,23 \text{ кг} / \text{м}^3$$

По координатам точек $x_n=0$, $x_k=80,23$ и $y_k=3 \cdot 10^{-5}$, $y_n=0,006$ строим рабочую линию процесса. С помощью построенной диаграммы определяем величины для графического интегрирования. Задаемся рядом значений «у» в интервале $y_n - y_k$ и для каждого значения «у» находим значения x^* на рабочей линии и значение y^* на равновесной линии.

у , кг/кг	y^* , кг/м ³	у , кг/м ³	у - y^*	1/ (у- y^*)
0,006	0,23	0	0	2
0,005	8,0	0	0	2
0,004	5,2	0	0	3
0,003	4,0	0	0	4
0,002	3,2	0	0	8
0,001	1,5	0	0	2
0,00003	0,0	0	0	3

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					



Масштабы определяются:

$$M_1 = \frac{l_1}{n_1}, M_2 = \frac{l_2}{n_2}$$

$$M_1 = \frac{333,33}{260} = 128,2 \quad M_2 = \frac{0,006}{240} = 0,25 \cdot 10^{-4}$$

$$n_y = \int_{y_k}^{y_n} \frac{d_y}{y - y^*} = f \cdot M_1 \cdot M_2 = 5852 \cdot 128,2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-4} = 18,75$$

Высота адсорбента:

$$H_n = n_y \cdot h = 0,0101 \cdot 18,75 = 0,19 \approx 0,25 \text{ м}$$

$$V_{ад} = H_n \cdot S_a = 0,25 \cdot 2,01 = 0,502 \text{ м}$$

6. Продолжительность процесса адсорбции определяется по закону Генри, т.к. (·) y_n на графике находящиеся в области прямой линии

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\frac{x^*}{\omega_{Г} \cdot y_n}} \cdot \sqrt{H_n} - v \sqrt{\frac{x^*}{\beta_y \cdot y_n}}$$

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\frac{104,0}{0,28 \cdot 0,006}} \cdot \sqrt{0,25} - 1,84 \sqrt{\frac{104,0}{33,19 \cdot 0,006}} = 82,4$$

$$\tau = 82,4^2 = 6780 \approx 113 \text{ мин} \approx 1,9 \text{ ч}$$

7. Количество газо-воздушной смеси, проходящей через адсорбент за время τ

$$V = S_a \cdot \omega_2 \cdot \tau = 2,01 \cdot 0,28 \cdot 6789,76 = 3821,276 \text{ м}^3$$

$$\text{или } 3821,276 \text{ м}^3 \cdot 1,9 \text{ ч} = 2011,19 \text{ м}^3/\text{ч}$$

8. Перепад давления в слое

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					

$$\Delta P = \frac{2H_u}{gd_s \rho_r} \cdot \left(\frac{770 \mu_r \cdot G_r}{d_s} + 10,6 \cdot G_r^2 \right) = \frac{2 \cdot 0,25}{9,81 \cdot 0,0013 \cdot 1,21} \left(\frac{770 \cdot 0,018 \cdot 10^{-3} \cdot 0,334}{0,0013} + 10,6 \cdot 0,334^2 \right) =$$

$$= 116,5 \text{ кг} / \text{м}^3$$

где

$$G_2 = \frac{V_r \cdot \rho_r}{3600 \cdot S_a} = \frac{2000 \cdot 1,21}{3600 \cdot 2,01} = 0,334 \text{ кг} / \text{м}^3 \cdot \text{с}$$

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил	Холов Р.В.					
Руковод	Цуканов М.Н.					

4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

4.1. Охрана труда.

Основная опасность промышленных объектов нефтепереработки представляет аварийная загазованность, пожары и взрывы. Многие из продуктов взрывопожароопасные или токсичные. Ежегодно в мире на нефтеперерабатывающих предприятиях происходит до 1,5 тысяч аварий, 4% которых уносят значительное количество человеческих жизней. Аварийность имеет тенденцию к росту. Совершенствование технологических процессов и оборудования является важным фактором повышения уровня безопасности производства. Характеристика производственных помещений по взрывоопасности. Операторная категория пожарной опасности Д. Класс по ПУЭ – не взрывоопасна. Насосная Категория А. Класс по ПУЭ – В –1а. Территория установки. Категория А. Класс по ПУЭ-В-1г.

Характеристика вредных веществ.

1. Окись углерода (СО). Бесцветный, ядовитый, огневзрывоопасный газ, без вкуса, с очень слабым запахом. Горит синеватым пламенем. ПДК-20мг/м³. Пределы взрывоопасности 13-75% об. Основные симптомы: потеря сознания, отдышка, удушье.

2. Сероводород – H₂S. Бесцветный газ с запахом тухлых яиц. Общий характер действия на организм : сильный нервный яд, вызывающий смерть от остановки дыхания, на дыхательные пути действует раздражающе. ПДК – 10 мг/м³. Пределы взрывоопасности 4,3-45,5 % . Индивидуальные защитные средства – фильтрующий противогаз марки «В».

3. Жирный газ. Агрегатное состояние при нормальных условиях – газообразное. Плотность паров по воздуху – 1,98.

4. Бензины. Класс опасности 4. Общий характер действия на организм – как наркотик. Крекинг бензин токсичнее бензинов прямой гонки. При концентраций любого бензина 35000-40000 мг/л опасны для жизни даже при вдыхании 5-10 минут. ПДК-100 мг/м³ . Придел взрываемости 0,87-8,75 % . При работе с бензином применяется противогаз марки «А».

Мероприятия при охране труда. Начальник цеха производит ежедневно проверку в подразделениях цеха, состояние охраны и условия труда организация рабочих мест, исправность оборудования, правильность ведения технологического процесса и операций.

Начальник установки производит ежедневно проверку рабочих мест оборудования, приборов, средств коллективной и индивидуальной безопасности, работоспособность сигнализаций и блокировок.

Охрана труда и техника безопасности – это комплекс методов, разработанных и направленных на охрану здоровья и безопасности сотрудников предприятий в процессе выполнения ими их рабочих обязанностей в рабочее время, а также при работе сотрудников с различным

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

оборудованием. Охрана труда и техника безопасности регулируется рядом различных нормативно-правовых, законодательных актов, в том числе Трудовым Кодексом Республики Узбекистан, реализация данного направления обеспечивается согласованными совместными действиями органов власти Республики, субъектами органов власти Республики, органами местного самоуправления, работодателями, их объединениями, профсоюзами и другими уполномоченными лицами представительных органов по охране труда.

Охрана труда на различных предприятиях обеспечивается комплексом мероприятий, которые направлены на исключение или снижение случаев травматизма, а также на снижение и устранение рисков возникновения несчастных случаев. С этой целью на предприятии функционируют службы по охране труда и лица, несущие ответственность за инструктаж и проведение обучения сотрудников технике безопасности и осуществляющие контроль над выполнением правил и норм безопасности, которые взаимодействуют с работодателем, инспекцией по труду и профсоюзами.

4.2. Охрана окружающей среды.

Социальное значение.

В середине нашего столетия резко обострилась проблемы связанные с химическим загрязнением биосфера, нередко приводящие к острым токсично-экологическим ситуациям. Основными источниками загрязнения атмосферы являются резервуары и сами нефтепродукты. Укрепление установок существенно сокращает выбросы вредных веществ в атмосферу.

Отходы и выбросы.

1. Отработанный раствор щелочи. Образуется постоянно. Отработанный раствор щелочи перерабатывается на установки СЦС. Количество 300 т/год.

2. Отработанные масла. Отработанные масла отводятся на установку регенераций масел. Сточные воды с охлаждающих насосов направляются на биологическую очистку УВК и ОСВ. Место сброса в промышленную канализацию после локальной очистки.

Мероприятия по охране окружающей среды.

Мероприятия по сокращению выбросов при режиме 1:

1. Усилить контроль за точным соблюдением технического режима согласно технологическому регламента.

2. Запретить работу оборудования на форсированном режиме.

3. Усилить контроль за работой технологического оборудования, запорной арматуры, приборов КИП и А.

4. Прекратить продувку, пропарку, чистку оборудования и ремонтные работы, связанные с повышенным выделением вредных веществ в атмосферу. Выбросы всего по цеху с мероприятиями 130,205 г/сек.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

4.3. Требования по технике безопасности

Техника безопасности – это комплекс мероприятий организационно-технического характера, которые направлены на создание безопасных условий труда на предприятии, позволяя снизить или исключить производственный травматизм. Для этого проверяют исправность действующего оборудования, защитных приспособлений к машинам, станкам, нагревательным установкам. Оптимизируют с целью безопасности условия работы, обеспечивая хорошую освещенность рабочих мест и производственных помещений, хорошую вентиляцию, своевременное удаление пыли и отходов производства, поддержание нормальной температуры в помещениях. Лицом, ответственным за выполнение условий безопасности труда на предприятии, проводится инструктаж по правилам техники безопасности на предприятии в целом и при работе с конкретным оборудованием, обучение персонала и проверка знаний о правилах безопасности. Также охрана труда на предприятии включает в себя обеспечение персонала инструкциями по технике безопасности, оснащение рабочих мест плакатами и наглядными пособиями по работе с оборудованием и изображениями, визуализирующими наиболее опасные места на производстве и действия, предотвращающие производственный травматизм.

Требования по технике безопасности к сотрудникам предприятия

Чтобы снизить производственный травматизм, сотрудники также обязаны придерживаться определенных требований и правил поведения на рабочем месте, которые предусматривает техника безопасности:

- надевать спецодежду, которая должна быть в полном порядке, а также рабочую обувь;
- перед началом работы подготовить рабочее место, освободить его для работы, проверить освещенность и исправность оборудования;
- убедиться, что пол на рабочем месте в исправности, не скользит, и нет на полу посторонних предметов, об которые можно споткнуться;
- во время работы с конкретным видом оборудования пользоваться защитными приспособлениями – перчатками, очками, сетками и другими;
- не наклоняться близко к работающему оборудованию и пользоваться технологическими картами.

Основные правила безопасного ведения технологического процесса

Выполнение следующих правил безопасного ведения процесса, связанных с ним работ исключает возможность аварии, взрывы, пожары, травмирование людей, нарушение технологического режима.

Лица, допускаемые к производству, работ должны быть проинструктированы и обучены безопасным приемам работы, сдать экзамены и иметь при себе соответствующее удостоверение. При введении новых технологических процессов и методов труда, видов оборудования и

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

механизмов, а также правил и инструкций, должен проводиться дополнительный инструктаж.

Не допускается загромождение и загрязнение производственных площадок, помещений, оборудования, проездов, дорог в местах где запрещен проезд транспорта должны быть вывешены предупредительные надписи и знаки, дренажные и канализационные колодцы должны быть надежно закрытыми или огражденными.

Систематически должны производиться осмотр и проверка производственного оборудования и своевременный его ремонт согласно графика ППР. Каждое действующее оборудование, аппараты, сосуды должны быть оснащены полным комплектом приспособлений, приборов, предусмотренных проектом или ГОСТом.

Не допускается работа производственного оборудования с нарушением параметров, установленных технологической картой или технологическими условиями и инструкциями.

Изменения в технологическую карту (регламент) разрешается вносить только после письменного указания главного инженера предприятия, причем они должны соответствовать рабочим параметрам, указанным в паспорте оборудования.

Эксплуатация трубопроводов, оборудования, аппаратов, сосудов при не герметичности фланцевых соединений или трещин по целому материалу - запрещается, также не допускается проведение на них любых ремонтных работ при их работе.

Производственные помещения должны быть обеспечены вентиляцией, создающей в зоне пребывания рабочих состояние воздушной среды, соответствующее санитарным нормам. Эффективность вентиляционных установок проверяется систематически, один раз в год. При вынужденной остановке вентиляционных установок должны быть приняты меры по обеспечению санитарного состояния воздушной среды, согласно санитарных норм СНИП.

В инструкциях по эксплуатации вентиляционных установок перечисляются особые указания о мерах, принимаемых персоналом при внезапной загазованности или возникновении пожара.

Во избежание распространения пожара в сети промливневой канализации во время возгорания нефтепродуктов или пожара на производственной площадке, на канализационных сетях промстоков и производственно-ливневых стоках устанавливаются гидрозатворы.

Объекты энергоснабжения должны обслуживаться электротехническим персоналом имеющим соответствующую группу допуска. Напряжение на электрооборудование должно подаваться и сниматься дежурным электроперсоналом по указанию ответственного за эксплуатацию этого оборудования или старшего по смене. При возникновении пожара на электрооборудовании напряжение должно быть немедленно снято.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

Отогревание оборудования и трубопроводов в зимнее время может производиться только паром или горячей водой.

Предохранительная арматура на аппаратах должна соответствовать предъявленным требованиям “Правил устройства и безопасной эксплуатации аппаратов, работающих под давлением”.

Пуск и работа установки с неисправной системой пожаротушения запрещается.

Все сооружения установок, в зависимости от категории, должны быть надежно заземлены при помощи заземляющих устройств от прямых ударов, вторичных проявлений молнии и статического электричества.

Оборудование, подлежащее вскрытию и ремонту, должно быть выведено из работы, освобождено от продукта, оглушено, пропарено, промыто водой и проветрено. Все подводящие трубопроводы к ремонтируемому оборудованию должны быть оглушены. Промывка водой неостывшего оборудования недопустимо. Производство работ на отключенном оборудовании и трубопроводе, разрешается только по получению анализа газовоздушной смеси. Работы по очистке оборудования аппаратов, сосудов от шлама должны производиться только в шланговых противогазах с дублером бригадой не менее 2-х человек. Для внутреннего освещения аппарата, сосуда должны применяться светильники во взрывозащищенном исполнении, с напряжением не выше 12В.

Запрещается допуск к газоопасным работам лиц, не обученных безопасным приемам ведения работ, способам оказания первой доврачебной помощи пострадавшим.

Газоопасные работы должны выполняться только при наличии наряд-допуска и в присутствии ответственного за проведение газоопасных работ.

Необходимо вести постоянный контроль за состоянием газовоздушной среды, немедленно прекратить работу при загазованности выше допустимой концентрации.

Перед допуском к работе по обслуживанию блоков реагента-деэмульгатора обслуживающий персонал должен быть проинструктирован и ознакомлен с инструкциями безопасности труда. Работы, связанные с химреагентом, должны производиться строго в спецодежде, защищающей тело, руки, ноги.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

ВЫВОДЫ.

С целью увеличения производства сжиженного углеводородного газа в программе развития нефтегазовой отрасли республики на 2003-2010 гг. предусмотрено строительство на базе «Шуртаннефтегаз» комплекса по производству СУГ, используя имеющиеся возможности и накопленный практический опыт. Предлагается комплекс из четырех установок. В качестве базовой принята выше рассмотренная УПБС-3 производительностью 3 млрд.ст.м³/год. На трех новых установках (три блока) максимально используются проекты оборудования УПБС-3. Технологический процесс усовершенствован с учетом внедренных изменений и модернизации на этой установке. На три линии будет подаваться после цеолитовых блоков сероочистки газ в объеме 9 млрд м³ в год. Реализация данного проекта позволит получить по предварительным данным дополнительно в год 135 тыс.т пропан-бутановой смеси и 51 тыс.т газового конденсата.

Кроме того, исходя из опыта эксплуатации УПБС-3, применение турбодетандерного агрегата проектируется на Мубарекском ГПЗ при реализации проекта переработки природного и факельных (попутные, выветривания, стабилизации и деэтанзации) газов месторождения Кокдумалак (4 млрд.м³/год) с производством сжиженного углеводородного газа и газового конденсата. Газы месторождения Кокдумалак характеризуются высоким содержанием пропан-бутановых фракций и имеют следующий состав (% об.): в факельных газах после компримирования (P=5,7 МПа) CH₄ = 78,90, C₂H₆ = 9,45, C₃H₈ = 3,50, i-C₄H₁₀ = 0,43, n-C₄H₁₀ = 1,26, C_{5+В} = 1,57, H₂S = 0.09, N₂ = 0,99, CO₂ = 3,81; в свободном газе с УКПГ (Ротб.=5,7 МПа, Тотб.=38-41 °С) CH₄ = 89,81; C₂H₆ = 3,41; C₃H₈ = 1,80; i-C₄H₁₀ = 0,20; n-C₄H₁₀ = 0,44; C_{5+В} = 0,31; H₂S = 0,08; N₂ = 0,97; CO₂ = 2,98. Потенциал C₃ + C₄ в свободном газе месторождения Кокдумалак составляет около 2,3-2,4 % об.; попутные нефтяные газы и газы выветривания, стабилизации и деэтанзации с установок подготовки газового конденсата, имеющие относительно низкие давления и сжигаемые в настоящее время на факелах, содержат C₃ + C₄ от 2,3 до 5 % об.

Исходя из этого, для увеличения производства сжиженного газа в республике принято решение собрать, подготовить и скомпримировать факельные газы месторождения Кокдумалак до давления 5,7 атм. многоступенчатым компрессором и вместе со свободным газом общим объемом 4 млрд.м³ в год по отдельному газопроводу направить на Мубарекский ГПЗ. Здесь очищенный и осушенный газ после блока цеолитовой очистки подается на установку получения сжиженного углеводородного газа. Природный газ месторождения Кокдумалак планируется возмещать подачей газа с месторождения Алан, имеющего относительно низкое содержание C₃ + C₄ (до 1,2 % об.).

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

В дальнейшем на Мубарекском ГПЗ предлагается построить еще две подобные установки, которые будут перерабатывать малосернистые природные газы как месторождения Кокдумалак, так и месторождений Алан, Зеварды, Памук, Култак со следующим усредненным их составом (% об.): $\text{CH}_4 = 90,0$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,66$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,85$; $i\text{-C}_4\text{H}_{10} = 0,16$; $n\text{-C}_4\text{H}_{10} = 0,24$; $\text{C}_{5+\text{B}} = 0,23$; $\text{H}_2\text{S} = 0,07$; $\text{N}_2 = 0,49$; $\text{CO}_2 = 4,3$. Потенциал C_3+C_4 составляет 1,25 % об.

Предварительные расчеты показывают, что на указанных установках МГПЗ можно получить в год 300-250 тыс.т ПБФ, 100-70 тыс.т газового конденсата.

Таким образом, в республике имеется реальная возможность увеличения объема производства СУГ до 600 тыс.т в год, которое позволит расширить сеть автомобилей, работающих на СУГ, увеличить объем экспорта данного вида продукции и будет способствовать развитию газохимической отрасли.

Учитывая наличие запасов природного газа в республике, еще одним перспективным направлением его использования является получение синтетического жидкого топлива (СЖТ). Технологией производства СЖТ из природного газа занимаются многие ведущие фирмы, такие как Exxon Mobil, Sasol Chevron, Syntroleum Corp, Conoco, Cros Solutions, Lurgi Oil-Gas-Chemic. Gmbh и другие. По технологической схеме производства СЖТ природный газ (метановая фракция) окисляется в присутствии катализатора в синтез-газ, содержащий CO и H_2 , далее либо в процессе Фишер-Тропша превращается в моторное топливо, либо с применением процесса Мобил - через промежуточное получение метанола превращается в бензин. При этом из 1 м^3 синтез-газа получают 120-180 г синтетического бензина, и его стоимость по сравнению с бензином, производимым из нефти, на 1,8-3,7 раза дороже. Дальнейшее развитие технологии производства СЖТ направлено на повышение эффективности путем применения более дешевых катализаторов и уменьшение себестоимости выпускаемой продукции.

Узбекский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа Республики Узбекистан изучает опыт ведущих фирм в области производства СЖТ и проводит технико-экономические расчеты по возможности применения технологии производства СЖТ в ближайшей перспективе в Республике Узбекистан.

Развитие технологии глубокой переработки газа в Узбекистане позволит увеличить объемы производства малотоксичных моторных топлив, компенсировать постепенное уменьшение производства бензина из нефти, подготовить почву для развития нефтехимии и в перспективе из газа получить малотоксичные синтетические топлива.

Вторичная переработка нефтяного и газового сырья получила ныне название нефтехимического синтеза. Уже в настоящее время 25% мировой химической продукции выпускается на основе нефти и углеводородных газов. Ближайшие перспективы развития нефтехимической

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

промышленности исключительно благоприятны как по масштабам производства, так и по безграничному разнообразию промежуточных и конечных продуктов синтеза.

К нефтехимической продукции относятся: пластические массы, синтетические каучуки и смолы, синтетические волокна, синтетические моющие средства и поверхностно-активные вещества, некоторые химические удобрения, присадки к топливам и маслам, синтетические смазочные масла, белково-витаминные концентраты, многочисленные индивидуальные органические вещества: спирты, кислоты, альдегиды, кетоны, хлорпроизводные эфиры, гликоли, полигликоли, глицерин и другие, применяющиеся в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и в быту.

Все вышесказанное в полной мере относится к проблемам переработки нефти в Узбекистане. В современной гражданской и военной авиации широкое применение получили воздушно-реактивные двигатели (ВРД), работающие на жидком углеводородном топливе. Это обусловлено достаточно широкими ресурсами нефтяных углеводородных топлив, их сравнительно невысокой стоимостью, высокими энергетическими показателями и рядом других достоинств.

Применение ВРД, являющегося одновременно движителем самолета без сложных механических передаточных и ходовых устройств, позволяет при относительно небольшой массе создать большую тягу, причем в отличие от поршневых двигателей с пропеллером сила тяги ВРД не только не снижается с увеличением высоты и скорости полета, наоборот, даже возрастает. Совершенствование ВРД и реактивных самолетов всегда было направлено на дальнейшее увеличение высоты и скоростей полета, повышение моторесурса, надежности и экономичности двигателей, обеспечение безопасности полетов. В зависимости от развиваемых скорости и высоты полета принято классифицировать ВРД и соответственно топлива на два типа: для дозвуковых и сверхзвуковых реактивных самолетов.

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ислам Каримов. Доклад на расширенном заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2015 году и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2016 год. Ташкент.16.01.2016й
2. «Технология первичной переработки нефти и природного газа» А.К. Мановян Москва «Химия» 2001.
3. «Коррозия и защита от коррозии» И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов Под ред. И.В. Семеновой-М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. -336с ISBN + 5-9221-0246-X.
4. «Нефт и газ технологии и продукты переработки» В.Е. Агабеков, В.К.Косяков Минск «Беларуская наука» 2011
5. «Нефт и газовые технологии и продукты переработки» В.Е. Агабеков, В.К. Косяков Минск «Беларуская наука» 2011
6. «Технология переработки природного газа и конденсата» В.И. Мурин, Н.Н. Кисленко, Ю.В. Сурков Коллектив авторов,2002 Оформление. ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002.
7. Кравцов А.В., Ивашкина Е.Н., Юрьев Е.М. Теоретические основы каталитических процессов переработки нефти и газа: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 146 с.
8. С.А.Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие. Под ред. С. А. Ахметова. — СПб.: Недра, 2006. — 868 с.; ил.
9. В.Смидович «Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородов», М., Химия, 2000, 327 стр.
10. www.ziyonet.uz
11. www.neft-gaz.ru
12. www.oil-gas.at
13. www.oil.com
14. www.oil-book.ru
15. www.oil-gas.ru

Изм	Лист	№ Документ	Подп	Дата	5321400-НГКСТ	стр
Выполнил		Холов Р.В.				
Руковод		Цуканов М.Н.				