

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки: 21.03.01 Нефтегазовое дело
 ООП: Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений
 Отделение школы: Отделение нефтегазового дела

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ АДСОРБЦИОННОЙ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ МЕДВЕЖЬЕ (ЯНАО)

УДК 622.279.8:66.074

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б95	Трухачев Максим Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шишмина Людмила Всеволодовна	К. Х. Н., С. Н. С.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Креницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лукин Алексей Анатольевич	К.Г.-М.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ**21.03.01 Нефтегазовое дело****ООП «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-10	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания
ОПК(У)-2	Способен участвовать в проектировании технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
ОПК(У)-3	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области проектного менеджмента
ОПК(У)-4	Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные
ОПК(У)-5	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	Способен принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства и технологии

ОПК(У)-7	Способен анализировать, составлять и применять техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью, в соответствии с действующими нормативными правовыми актами
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен осуществлять и корректировать технологические процессы нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
ПК(У)-2	Способен проводить работы по диагностике, техническому обслуживанию, ремонту и эксплуатации технологического оборудования в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
ПК(У)-3	Способен выполнять работы по контролю безопасности работ при проведении технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
ПК(У)-4	Способен применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
ПК(У)-5	Способен обеспечивать и контролировать выполнение показателей разработки месторождений и производственных процессов при эксплуатации скважин
ПК(У)-6	Способен обеспечивать выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту, диагностическому обследованию оборудования, проводить организационно-техническое обеспечение процесса добычи углеводородного сырья
ПК(У)-7	Способен выполнять работы по проектированию технологических процессов нефтегазового производства в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности
ПК(У)-8	Способен использовать нормативно-технические требования и принципы производственного проектирования для подготовки предложений по повышению эффективности разработки месторождений и перспективному развитию процессов по добыче углеводородного сырья

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело
 ООП Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений
 Отделение школы Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ А.А. Лукин

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
2Б95	Трухачев Максим Сергеевич

Тема работы:

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ АДСОРБЦИОННОЙ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ МЕДВЕЖЬЕ (ЯНАО)	
<i>Утверждена приказом директора</i>	<i>№39-67/с от 08.02.2023</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Тексты и графические материалы отчетов и исследовательских работ, фондовая и научная литература, технологический регламент установки, нормативные документы, периодические издания, монографии, учебники.
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке	Введение. Физико-химические основы процесса осушки газа методом адсорбции. Адсорбенты и аппараты для осушки природных газов. Постановка задачи работы. Анализ технологии подготовки газа. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность. Заключение.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП ТПУ Креницына Зоя Васильевна
Социальная ответственность	Старший преподаватель ООД ШБИП ТПУ Гуляев Милий Всеволодович

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2023
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шишмина Людмила Всеволодовна	К. Х. Н., С. Н. С.		10.02.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б95	Трухачев Максим Сергеевич		10.02.2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело
 ООП Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений
 Отделение школы Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения _____ весенний семестр 2022/2023 учебного года

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
2Б95	Трухачев Максим Сергеевич

Тема работы:

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ АДСОРБЦИОННОЙ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ МЕДВЕЖЬЕ (ЯНО)

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.02.2023	Работа с литературными источниками. Введение.	10
02.03.2023	Литературный обзор: Физико-химические основы процесса осушки газа методом адсорбции	15
16.03.2023	Аналитический обзор: Адсорбенты и аппараты для осушки природных газов.	15
06.04.2023	Характеристика объекта и методов исследования.	15
27.04.2023	Анализ технологии подготовки газа.	20
11.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
31.05.2023	Социальная ответственность	10
15.06.2023	Оформление работы, составление презентации, подготовка доклада	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шишмина Людмила Всеволодовна	К. Х. Н., с. Н. С.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лукин Алексей Анатольевич	К.Г.-М.Н		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б95	Трухачев Максим Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 83 с., 30 рис., 9 табл., 45 источников.

Ключевые слова: газ, сеноманская залежь, поздняя стадия разработки, адсорбционная осушка, цеолит, силикагель, эффективность.

Объектом исследования является установка комплексной подготовки газа Цеха (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления.

Цель работы – обеспечить качество подготовки газа в соответствии со Стандартом Газпрома в период падающей добычи.

В ходе работы производились расчеты основных технологических параметров адсорберов с применением силикагеля и цеолита в качестве адсорбентов. Выявлено, что эффективным адсорбентом, с технологической точки зрения, в период падающей добычи является силикагель мелкопористый, так как минимально необходимая высота слоя адсорбента составила 1,68 м и максимальное время работы слоя до проскока влаги составило 14,3 ч.

В результате анализа зависимости основных технологических параметров от расхода осушаемого газа выявлена возможность модернизации технологического процесса осушки газа. Модернизация подразумевает перевод двух технологических цехов в консервацию и перевод газа со всех технологических ниток на подготовку через одну адсорбционную установку.

Область применения: установки адсорбционной осушки природного газа.

Потенциальная экономическая эффективность работы связана с уменьшением эксплуатационных затрат путем перевода двух технологических цехов в консервацию.

Содержание

Введение.....	10
Сокращения, термины и определения.....	13
1 Физико-химические основы процесса осушки газа методом адсорбции.....	14
1.1 Адсорбция и адсорбционные силы.....	14
1.2 Адсорбционное равновесие.....	16
2 Адсорбенты и аппараты для осушки природных газов.....	20
2.1 Основные виды адсорбентов.....	20
2.1.1 Силикагель	20
2.1.2 Активные угли	22
2.1.3 Цеолиты.....	25
2.1.4 Алюмогели	27
2.2 Типы адсорберов	29
2.2.1 Адсорберы с неподвижным слоем адсорбента	29
2.2.2 Адсорберы с движущимся слоем адсорбента	30
2.2.3 Адсорберы с псевдоожиженным слоем поглотителя	31
3 Объект и методы исследования	33
3.1 Геологическая характеристика месторождения.....	33
3.2 Характеристика пластового газа.....	35
3.3 Текущее состояние разработки Медвежьего нефтегазоконденсатного месторождения	35
3.4 Характеристика установки осушки природного газа	36
3.5 Методика расчёта размеров адсорбера	37
4 Анализ технологии подготовки газа.....	44
4.1 Технология подготовки газа на Медвежьем нефтегазоконденсатном месторождении	44
4.2 Результаты расчётов размеров адсорберов с разными типами адсорбентов.....	45

4.3 Влияние типа адсорбента на технологические параметры процесса осушки	46
4.4 Оценка технологической эффективности процесса подготовки газа по модернизированной схеме	47
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	52
5.1 Добыча газа	52
5.2 Капитальные и эксплуатационные затраты	52
5.2.1 Амортизационные отчисления	53
5.2.2 Заработная плата	53
5.2.3 Затраты на эксплуатацию оборудования	54
5.3 Налоговые отчисления	55
5.4 Определение экономической эффективности	55
6 Социальная ответственность	60
6.1 Правовые и организационные вопросы	60
6.2 Производственная безопасность	62
6.2.1 Анализ потенциально вредных и опасных производственных факторов	63
6.3 Экологическая безопасность	68
6.3.1 Защита атмосферы	68
6.3.2 Защита литосферы	69
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	71
6.5 Выводы по разделу социальная ответственность	74
Заключение	75
Список публикаций обучающегося	77
Список использованных источников	78

Введение

Сеноманская газовая залежь Медвежьего месторождения разрабатывается с 1972 г. Месторождение стало плацдармом для начала применения таких технологических решений как кустовое бурение и применение центральных лифтовых колонн, которые дальше стали применяться повсеместно. На 01 января 2015 года из сеноманской газовой залежи отобрано более 1 900 млрд. м³ газа или 80,77 % от утвержденных запасов. На месторождении построено и эксплуатировалось десять установок комплексной подготовки газа (УКПГ), последняя из которых построена в конце 2011 года – УКПГ-Н. На данный момент в эксплуатации осталось только шесть установок комплексной подготовки газа, на четырёх из которых реализуется абсорбционная осушка газа с применением ди- и триэтиленгликоля, а на двух – адсорбционная осушка природного газа с применением силикагеля. На УКПГ-1 газ собирается по комбинированной системе сбора. С 2015 года на месторождении проводится реконструкция и техническое перевооружение объектов, по результатам которых планируется продление добычи до 2030 года [1].

На месторождении «Медвежье» залежи УВ в неокомских шельфовых пластах были открыты с пятой попытки, а залежи нефти и газового конденсата в ачимовской толще и тюменской свите (юра) на большей части месторождения до сих пор не разведаны, несмотря на прямые признаки нефтегазоносности, полученные при бурении поисковых скважин (интенсивные геохимические аномалии, ГИС, керн с запахом УВ, аварийные газопроявления). В 2005 году проведены испытания неокомских и ачимовских отложений, в результате которых из неокома получен приток газа и конденсата, из двух пластов получен приток нефти на уровне 5 м³/сут, однако промышленные притоки из ачимовских отложений не получены из-за низкого качества проведения скважинных операций. По результатам интерпретации 3Д сейсморазведки выявлены каналные сейсмofации с удовлетворительными фильтрационно-емкостными свойствами в тюменской свите.

Образование газовых гидратов на континентах связано с естественным процессом дегазации Земли, что наиболее интенсивно проявляется в арктических зонах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Поэтому вероятность обнаружить скопление газовых гидратов в надсеноманских залежах исключительно высока [2].

Геологоразведочные работы продолжаются и в настоящее время. В 2023 году продолжилось разведывательное бурение на неокомские и ачимоские отложения. Несмотря на то, что месторождение было введено в эксплуатацию 50 лет назад, «Медвежье» будет требовать технологии подготовки газа, способные обеспечивать требуемое качество подготовки газа, ещё долгое время.

Длительная эксплуатация газовых месторождений-гигантов Западной Сибири тесно связана с естественным процессом обводнения в процессе их разработки. Внедрение воды в залежь приводит к обводнению эксплуатационных скважин и оказывает негативное влияние, а именно увеличивается интенсивность коррозии газосборных шлейфов и всего оборудования в целом. В то же время для осушки газа до той же температуры точки росы по воде необходима более тщательная подготовка пластового газа, которую могут обеспечить не все технологии осушки природного газ [3]. Отсюда и возникает необходимость обеспечить качество подготовки газа в соответствии со Стандартом Газпрома в период падающей добычи на месторождении Медвежье.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы бакалавра является УКПГ Цеха (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления. Технологическая схема установки включает в себя процессы очистки потока природного газа от капельной влаги и масла, а также адсорбционную осушку природного газа. Последняя стадия разработки нефтегазоконденсатного месторождения сопровождается ростом обводненности добываемой продукции и одновременно с этим усложняется технология подготовки до требований к подготавливаемому газу. Газ,

поступающий в межпромысловый коллектор и в ЕСГ, должен соответствовать требованиям СТО Газпром 089 – 2010 [4].

Целью выпускной квалификационной работы бакалавра является обеспечить качество подготовки газа в соответствии со Стандартом Газпрома в период падающей добычи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить теорию и технологию адсорбционной осушки газа;
- изучить технологию подготовки газа на месторождении Медвежье;
- провести сравнительный расчет процесса адсорбционной осушки газа на силикагеле и на цеолите;
- оценить технологическую и экономическую эффективность использования разных адсорбентов;
- рекомендовать лучший адсорбент в текущих условиях.

Сокращения, термины и определения

АВО – аппарат воздушного охлаждения;

ГП – газовый промысел;

ГРР – геологоразведочные работы;

ГФУ – горизонтальная факельная установка;

ДКС – дожимная компрессорная станция;

ДНГ – добыча нефти и газа;

ЕСГ – единая система газоснабжения;

ЖУС – жидкость углеводородная стабильная;

КИПиА – контрольно измерительные приборы и аппаратура;

КСКГ – крупный силикагель крупнопористый гранулированный;

КСМГ – крупный силикагель мелкопористый гранулированный;

НДПИ – налог на добычу полезных ископаемых;

ПГ – пожарный гидрант;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ПК – пожарный кран;

ПСПГ – пункт сепарации пластового газа;

СТО – стандарт организации;

ТБО – твердые бытовые отходы;

ТР – технологический регламент;

ТТР – температура точки росы;

УКПГ – установка комплексной подготовки газа;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

1 Физико-химические основы процесса осушки газа методом адсорбции

1.1 Адсорбция и адсорбционные силы

Процесс концентрации вещества в объеме микропор или на поверхности твердого тела называется адсорбцией. Процесс адсорбции может протекать при наличии минимум двух компонентов: адсорбента и адсорбтива. Адсорбент – вещество в твердом состоянии, на поверхности которого или в микропористом объеме происходит концентрация извлекаемого вещества. Адсорбтив – вещество в жидком или газообразном состоянии, которое подлежит извлечению. После концентрации адсорбтива на адсорбенте он называется адсорбатом.

Адсорбция может быть физической или химической. При физической адсорбции происходит взаимодействие полярной поверхности адсорбента и извлекаемых молекул. Часто дисперсионные силы составляют большую часть энергии взаимодействия. Флуктуирующие диполи и квадруполи, которыми обладают все молекулы любого адсорбтива, вызывают «мгновенные» отклонения от среднего распределения электронной плотности. При малых расстояниях между поглощаемым веществом и адсорбентом диполи и квадруполи начинают двигаться строго упорядоченно, систематически. Данное явление и обуславливает притяжение. Название «дисперсионные» силы произошло из-за схожести причин образования дисперсии света. В отличие от электростатических сил, дисперсионные не зависят от распределения электронной плотности поглощаемого вещества [5].

Ориентационные и индукционные силы Ван-дер-Ваальса при некоторых обстоятельствах увеличивают воздействие дисперсионных сил. При взаимодействии нескольких полярных молекул как между собой, так и с поверхностью, содержащей свободные электростатические заряды, возникают ориентационные силы Ван-дер-Ваальса. В свою очередь индукционные силы Ван-дер-Ваальса возникают при наличии изменений в электронной структуре поглотителя и поглощаемого вещества. Вид данного взаимодействия –

специфический, как для каждого адсорбтива, так и для каждого адсорбента. Величина вклада данного вида взаимодействий, при использовании углеродных – электронейтральных – адсорбентов, близка к нулю, однако при использовании цеолитов, характеризующихся гетероионностью, приблизительно равна величине вклада неспецифических сил.

Одним из ярких примеров образования водородной связи при адсорбции является адсорбция воды или спирта на силикагеле. Это вызвано особым строением силикагеля, а именно наличие в поверхностном слое гидроксильных групп. В случаях образования водородной связи происходит усиление величины вклада специфического воздействия [5].

Энергия Гиббса в процессе физической адсорбции, с точки зрения термодинамики, уменьшается. Адсорбция – процесс самопроизвольный, т.к. энергия Гиббса уменьшается. Адсорбционный процесс сопровождается уменьшением степени свободы поглощаемого вещества, переходя из трехмерного в двухмерное состояние. При уменьшении степени свободы вещества уменьшается энтропия системы. Данный процесс сопровождается и уменьшением энтальпии, что свидетельствует об экзотермичности процесса адсорбции [5].

При химической адсорбции теряется индивидуальность поглощаемого вещества и поглотителя. При уменьшении расстояния между этими веществами образуется химическая связь путем перераспределения отрицательных зарядов. Химическую адсорбцию необходимо рассматривать как химическую реакцию на поверхностном слое адсорбента. В это время физическая адсорбция больше похожа на конденсацию на поверхности поглотителя.

Основным отличительным признаком процесса физической и химической адсорбции является теплота адсорбции. Для промышленных газов теплоты адсорбции и конденсации приблизительно равны. Низкая скорость химической адсорбции – отличительный признак хемосорбции. Ещё один отличительный признак химической адсорбции – возможность протекать при

высоких температурах, при которых величина физической адсорбции ничтожно мала. Последним признаком, который отличает химическую адсорбцию, является скачкообразное изменение адсорбционной способности при использовании различного типа поглотителей.

И химическая и физическая адсорбция может быть локализованной, то есть поглощенные молекулы остаются неподвижными в месте поглощения, однако при увеличении температуры физическая адсорбция может перейти в нелокализованную, то есть молекулы адсорбата обретают подвижность [5].

1.2 Адсорбционное равновесие

Как и большинство процессов адсорбционная осушка состоит из нескольких стадий, основными из которых являются стадии адсорбции и десорбции. Оптимальные условия проведения любых адсорбционных процессов возможно определить только при совместном рассмотрении каждой стадии цикла адсорбции. Современные промышленные процессы адсорбции, в том числе и адсорбционная осушка газа, основаны на избирательном поглощении молекул адсорбтива из общего потока носителя, газа или жидкости. Величина способности поглощать определенные молекулы зависит от типа применяемого адсорбента, природы адсорбтива, а также от термобарических условий проведения адсорбции (рисунок 1 и 2) и других (рисунок 3) [5, 6].

Различные источники утверждают, что количество поглощаемого вещества является функцией от температуры и парциального давления [4] или концентрации адсорбтива [7]. Основной характеристикой адсорбентов является функция адсорбционной способности от давления при постоянной температуре, другими словами, эта функция называется изотерма адсорбции. В реальных технологических процессах осушки природного газа в осушаемом потоке газа могут встречаться как тяжелые углеводороды, так и гетероатомные соединения, которые требуют внесения корректив в изотермы адсорбции чистых компонентов. Помимо описания адсорбционной способности по изотерме адсорбции можно получить информацию о поровом

пространстве адсорбентов, тепловом эффекте адсорбции и других физико-химических и технологических характеристиках [5].

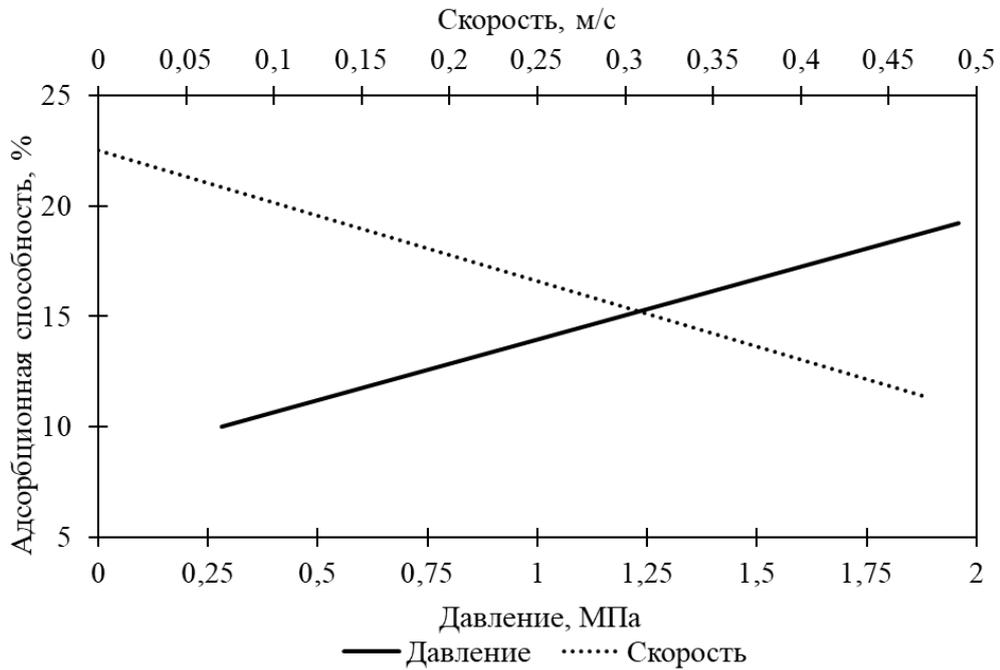


Рисунок 1 – Зависимость адсорбционной способности от давления и скорости [6]

В ряде случаев вместо изотермы адсорбции возможно использовать функцию адсорбционной способности от температуры при постоянном давлении, так называемую изобару адсорбции (рисунок 4) [5].

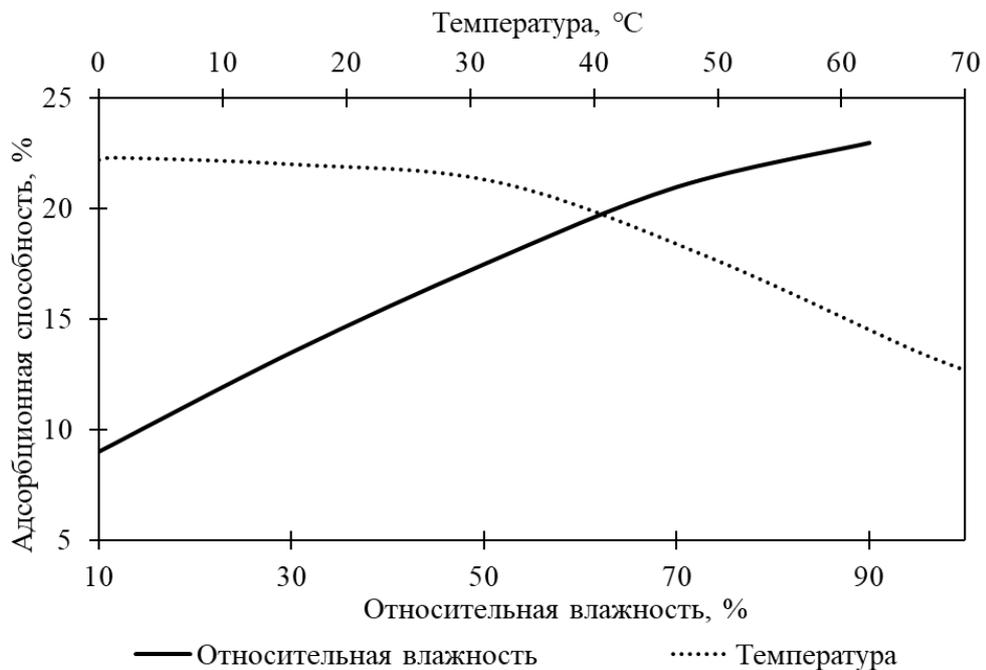


Рисунок 2 – Зависимость адсорбционной способности от относительной влажности и температуры [6]

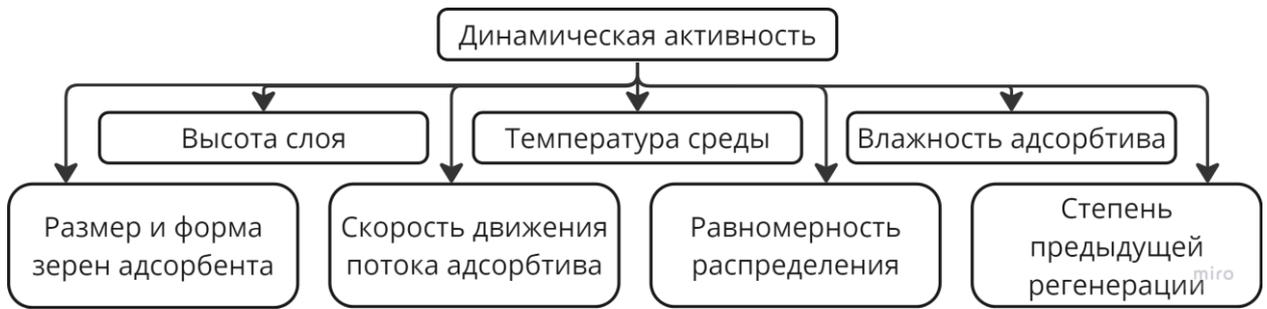


Рисунок 3 – Факторы влияния на адсорбционную способность [6]

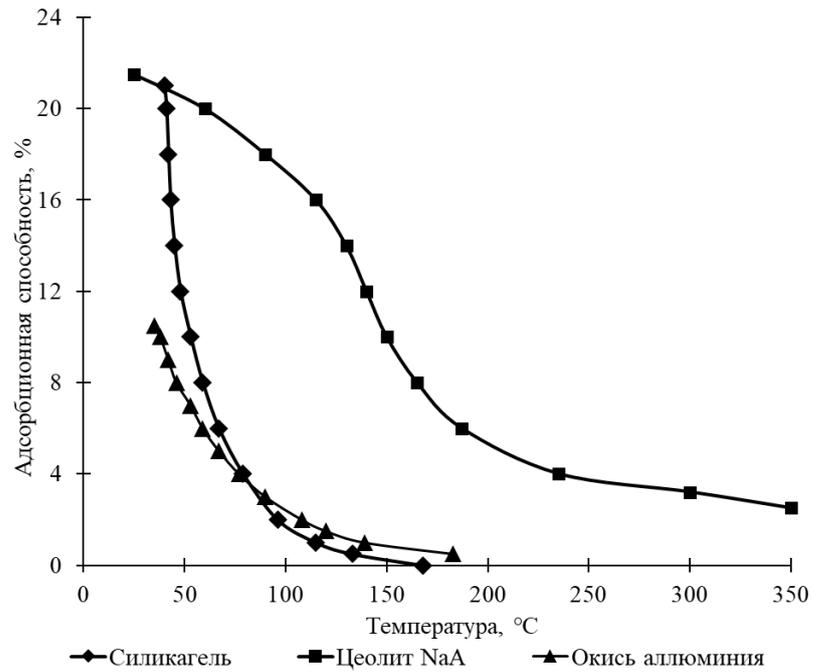


Рисунок 4 – Изобары адсорбции паров воды при давлении 1,3 кПа [5]

Количество теплоты, выделяемое в процессе адсорбции, принято определять эмпирическим путем, однако в случаях, когда данных недостаточно, возможно определить теплоту адсорбции теоретически, формула (1) [7].

$$Q = \frac{19,16 \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}, \quad (1)$$

где Q – теплота адсорбции, Дж/моль;

P_1 и P_2 – равновесные давления поглощаемого вещества над адсорбентом, Па, соответствующие абсолютным температурам T_1 и T_2 , К.

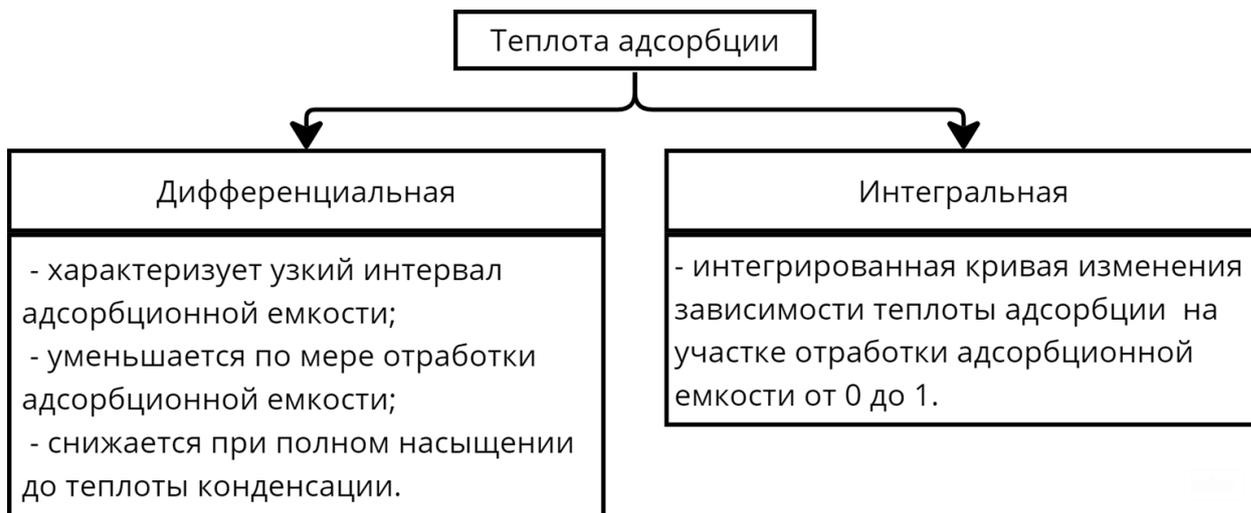


Рисунок 5 – Типы теплоты адсорбции

В ряде случаев необходимо применять понятие чистой теплоты адсорбции. Данная характеристика вычисляется сложением положительной величины теплоты адсорбции и отрицательной теплоты конденсации.

Скорость процесса массопередачи определяется по формуле (2):

$$\frac{dM}{dF} = K\Delta, \quad (2)$$

где $\frac{dM}{dF}$ – масса вещества, переданного через единицу поверхности в единицу времени;

K – коэффициент массопередачи;

Δ – движущая сила процесса.

2 Адсорбенты и аппараты для осушки природных газов

В адсорбционной очистке газов и жидкостей в качестве адсорбентов нашли применение пористые материалы с высокой удельной поверхностью, а соответственно и с сильно развитой структурой пор. Поры в адсорбентах делятся согласно величине радиуса пор на микропоры, мезопоры и макропоры. Для удобства применения изготавливаются в виде гранул, таблеток или шариков. В адсорбционной технике широкое распространение получили силикагели, цеолиты, активные угли и алюмогели.

2.1 Основные виды адсорбентов

2.1.1 Силикагель

В адсорбционной промышленности силикагель выпускают в виде гранул неправильной формы, таблеток или цилиндров, прозрачным или светло-коричневым прозрачным или матовым. Гранулометрический состав рекомендуется подбирать в зависимости от проектной технологии и используемого оборудования (рисунок 6) [5, 7, 8, 9].

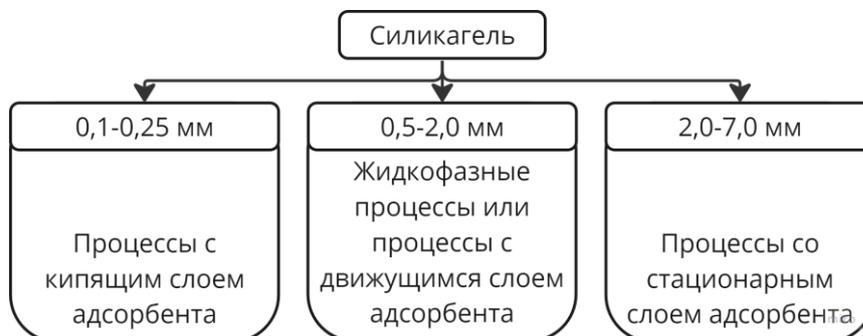


Рисунок 6 – Рекомендации применения силикагеля с различным типоразмером гранул

Сырьем для получения силикагеля является оксид кремния, который в свою очередь может находиться в аморфной и кристаллической формах. Однако силикагель представляет из себя гидратированную двуокись кремния в аморфной форме. Данное соединение не характеризуется постоянным составом и взаимодействует по механизму поликонденсации. В результате такого взаимодействия образуются коллоидные, почти сферические, частицы размером от 20 до 200 Å.

Сферические частицы образуют жесткую структурную сетку силикагеля, которая сохраняется после высушивания. Поровое пространство в таком варианте структурного каркаса представляет собой пустотное пространство между частицами. Поэтому плотность укладки и размер зерен определяют характеристики порового пространства.

На адсорбционную способность ключевое влияние оказывают количество и положение гидроксильных групп, которые в основном располагаются в поверхностных слоях.

Рисунок 7 отражает основные преимущества силикагеля.

Мелкопористые силикагели складываются из мелких глобул с плотной укладкой (рисунок 8 А) и характеризуются более высокой плотностью, чем

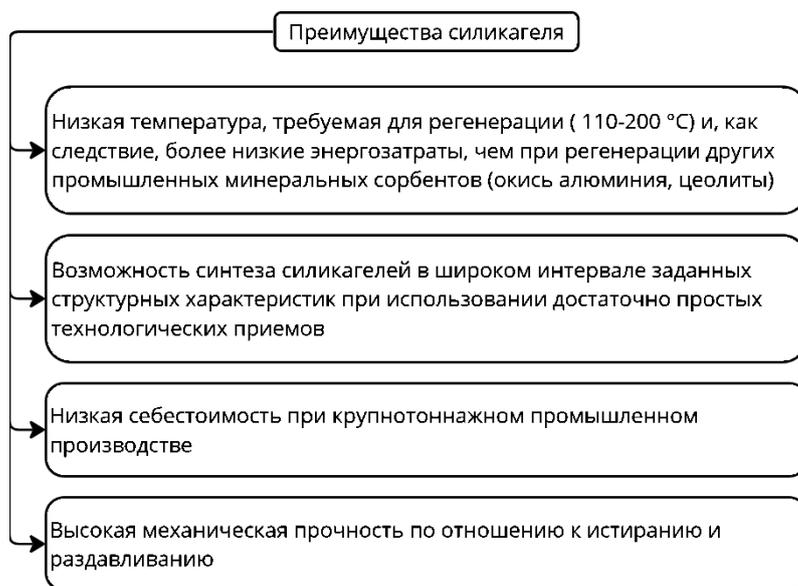


Рисунок 7 – Преимущества силикагеля

крупнопористый, который формирует рыхлую укладку из глобул большего размера (рисунок 8 Б). Плотная укладка мелкопористых силикагелей повышает устойчивость гранул к истиранию и раздавливанию.

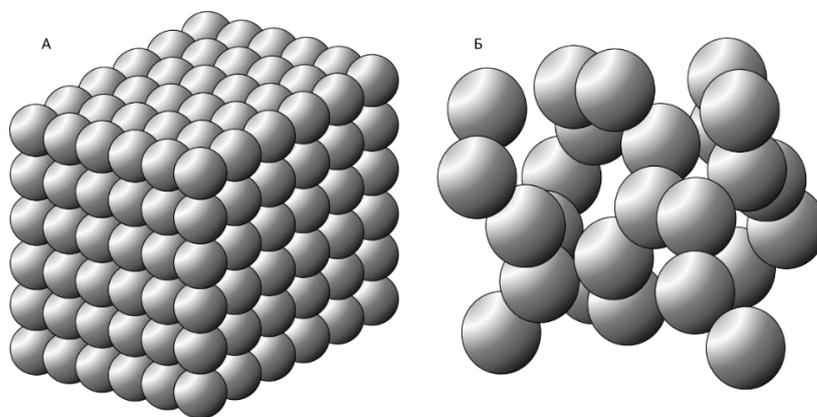


Рисунок 8 – Глобулярные системы мелкопористого (А) и крупнопористого (Б) силикагеля

При производстве силикагелей возможно регулированием технологических параметров добиться различных структурных характеристик силикагелей (таблица 1).

Таблица 1 – Структурные характеристики силикагелей

Объём пор, см ³ /г	Удельная поверхность, м ² /г	Средний радиус пор, Å	Насыпная плотность, г/см ³
0,3–1,2	300–750	10–70	0,4–0,9

Одной из главных отрицательных характеристик силикагеля является разрушение под воздействием капельной влаги, однако в адсорбционной промышленности разработаны влагостойкие марки силикагелей, но их производство является более трудоёмким и их емкость несколько ниже. Часто для защиты от капельной влаги первым слоем в адсорбер засыпается слой устойчивого к капельной влаге адсорбента, например, окиси алюминия.

Технический силикагель согласно ГОСТу [10] подразделяется на крупнопористый и мелкопористый, кусковой и гранулированный и т.д. (рисунок 9) [5, 7, 8, 9].

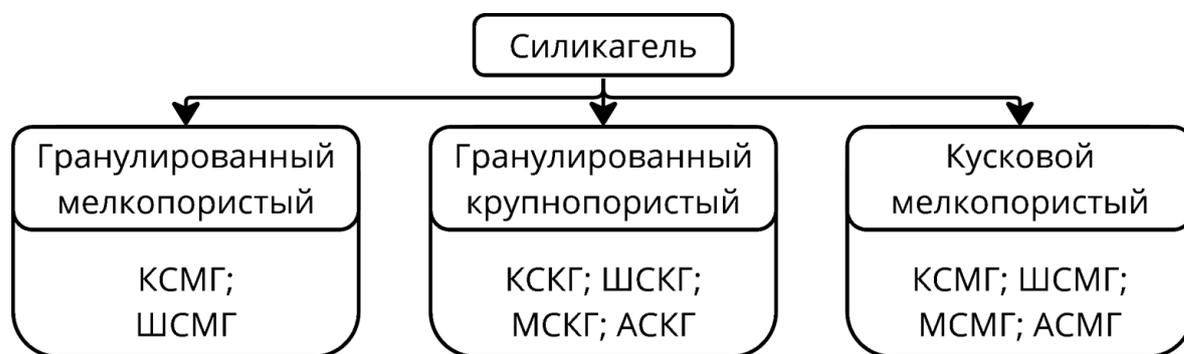


Рисунок 9 – Классификация силикагелей

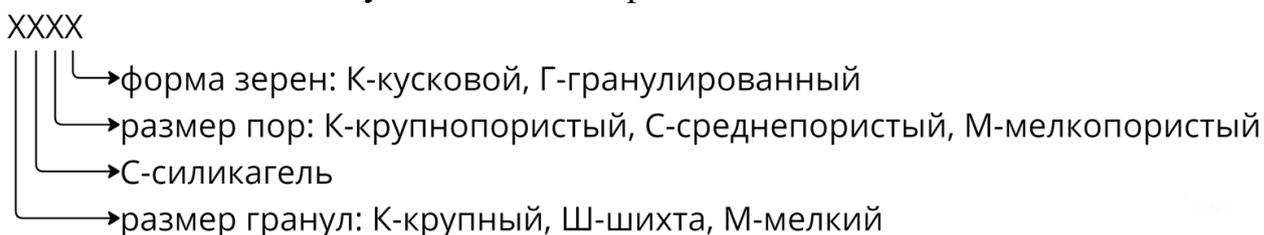


Рисунок 10 – Шифр силикагелей

2.1.2 Активные угли

Активные угли – один из основных типов промышленных адсорбентов, в состав которого входит преимущественно углерод. В качестве сырья, для производства активных углей, могут быть использованы самые различные

материалы, от обычного торфа или бурого угля до отходов бумажного производства или костей животных. При необходимости использования активных углей с высокой механической прочностью, то в качестве сырья часто используют скорлупу орехов или кокосов или даже косточки плодов. Температура десорбции активных углей в районе 250 °С [5, 7, 8].

При производстве активных углей после первой стадии – термической обработки без доступа кислорода – сырье характеризуется сильно развитой структурой макропор. Непосредственно в таком виде, при использовании в качестве промышленных адсорбентов, угли не характеризуются высокой эффективностью адсорбции. Однако следующей стадией производства угли активируют. Для активации в основном применяют обработку химическими реагентами (200–650 °С) или окисление паром или газом (≈ 900 °С). После активации в углях развивается высоко развитая структура микропор.

Важной особенностью активных углей является их электронейтральная поверхность, поэтому адсорбционная способность в большей своей степени определяется дисперсионным взаимодействием сил Ван-дер-Ваальса. Необходимо принимать во внимание гидрофобность и горючесть активных углей при подборе типа адсорбента для адсорберов [5, 7, 8].

Адсорбция воды на поверхности активных углей описывается особой формой изотермы адсорбции (рисунок 11), это обусловлено необычным механизмом поглощения. Первый вогнутый участок на изотерме характеризует хемосорбцию. В пористой структуре адсорбента происходит образование кислородсодержащего радикала, так называемых «поверхностных окислов». Это обусловлено наличием водородных связей.

Кислородсодержащие радикалы выступают в качестве центров адсорбции. Взаимодействие молекул воды и этих центров адсорбции происходит за счет водородных связей [11]. При повышении относительной влажности быстро увеличивается количество кислородсодержащих радикалов, безостановочно появляются и растут ассоциаты воды, на изотерме адсорбции это выражено вы резком росте кривой, а в реальности выражается

в увеличении адсорбционной способности. При относительной влажности близкой к максимуму почти весь объём пор заполняется адсорбированной водой. Отсюда следует вывод, что адсорбционная способность воды активными углями напрямую зависит от объёма микропор в адсорбенте, данный вывод подтверждается результатами термогравиметрического анализа экспериментальных образцов активных углей, находящихся долгое время в условиях повышенной влажности.

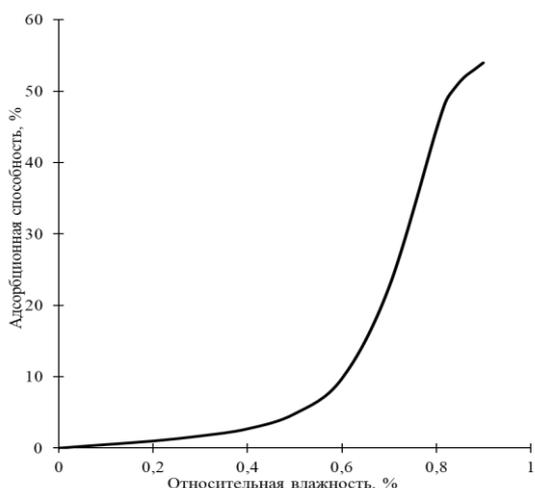


Рисунок 11 – Изотерма адсорбции воды на активном угле

адсорбентов, активные угли получили широкое распространение в таких технологических процессах как очистка влажных газов, очистка сточных вод и рекуперация паров [5, 7, 8].

Основной отрицательной характеристикой активных углей является их горючесть. Горение углей начинается при температурах свыше 250 °С. Однако в адсорбционной практике наблюдались случаи возгорания и при более низких температурах. Это обусловлено образованием пирофорных соединений железа в процессе сероводородной коррозии аппаратов. Для увеличения огнебезопасности в слой активных углей может добавляться до 5 % силикагеля. Смесь силикагеля и активных углей называют силикарбоном.

Для установления равновесия в системе адсорбент-адсорбтив, при использовании активных углей, необходимо относительно долгое время, несколько месяцев, из-за этого при проектировании технологических процессов практически не учитывается взаимодействие с окружающей средой.

Благодаря своему уникальному свойству — гидрофобности — среди других

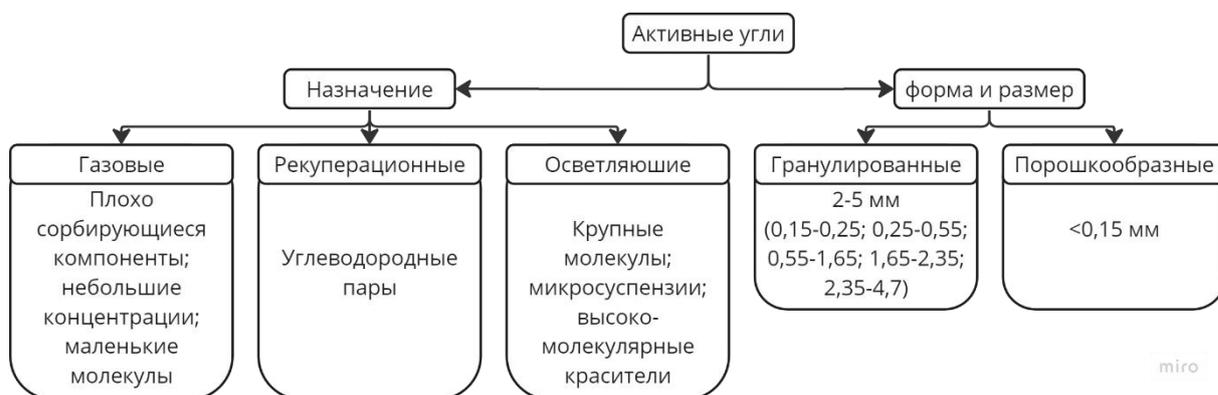


Рисунок 12 – Классификация активных углей

Гранулированные активные угли на практике подвергаются дроблению до различных размеров (рисунок 12) для увеличения интенсивности массообмена. В зависимости от назначения активные угли характеризуются различной структурой порового пространства [5, 7, 8].

При производстве активных углей в их структуре образуется некоторое количество зольных примесей, которые проявляют высокие каталитические свойства для многих химических реакций с отрицательным эффектом в адсорбере.

2.1.3 Цеолиты

Широкое распространение в адсорбционной технике цеолиты получили сравнительно недавно и в глобальном плане подразделяются на две больших группы: природные и синтетические. Основной отличительной чертой цеолитов является строго регулярная структура пор. Молекулярные сита состоят из алюмосиликатов с примесями окислов щелочных и щелочноземельных металлов. В природных цеолитах в качестве катионов обычно выступают: Na, K, Ca, Ba, Sr, Mg и уравнивают избыток электронов в алюмосиликатном скелете.

Изначально все полости природных цеолитов заполнены водой. После выпаривания воды в адсорбционные полости могут проникать и задерживаться другие вещества, критический диаметр которых меньше диаметра входного окна. Под критическим диаметром понимается минимальный диаметр молекулы. Диаметр входного окна зависит от типа цеолита [5, 7, 8, 9].

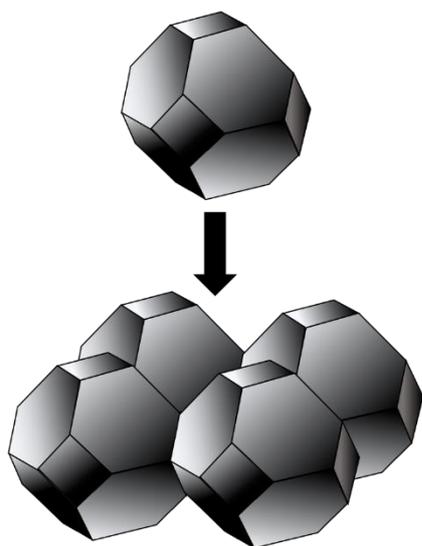


Рисунок 13 – Структура содалита

Содалит обладает простейшей кубооктаэдрической структурой (рисунок 13). Адсорбционные полости содалита из-за плотной упаковки также представляют собой кубооктаэдрические пространства. Диаметр входного окна содалита составляет 2–2,2 Å, что не позволяет большинству промышленных газов проникать в адсорбционные полости. Из-за этого содалиты не нашли применение в адсорбционной технике.

Основной трудностью применения природных цеолитов в адсорбции является наличие в месторождении цеолитов сразу нескольких типов.

Первые синтетические цеолиты были созданы более века назад. Их структура схожа с природными, так синтетические X и Y цеолиты являются аналогами природного фожазита.

В структуре цеолитов типа А выделяются большие и малые адсорбционные полости, которые составляют одну структурную единицу. Форма большой адсорбционной полости практически сферическая. Внутри полости может помещаться до 24 молекул воды, в то время как в малой полости может помещаться всего до 5 молекул воды. Из-за структурной особенности – отношение больших полостей к малым равно 1:1 – доля объёма больших полостей достигает 84 %, при этом общая пористость кристалла цеолита типа А составляет 50,2 %. Структура малых адсорбционных полостей, а именно маленькое входное окно, не позволяет проникать молекулам, кроме молекул воды, внутрь полости [5, 7, 8, 9].

При воздействии кислот цеолиты типа А разрушаются, однако при увеличении кремнистости увеличивается и кислотостойкость. Поэтому кислотостойкость цеолитов типа X выше. Также цеолиты типа X обладают более открытой структурой кристаллов и в неё способно проникнуть большее

количество молекул (256 молекул воды). Цеолиты типа Y идентичны по структуре типу X, однако обладают меньшей кремнистостью и, соответственно, обладают меньшей устойчивостью к воздействию кислоты и температуры. Получили широкое распространение в нефтехимической промышленности.

Структурные особенности цеолитов различных типов позволяют использовать этот вид адсорбентов для избирательной адсорбции, но и позволяет разделять молекулы по размерам.

Особенности структуры кристаллов цеолита KA объясняют то, что при нормальных термических условиях поглощаются в основном молекулы воды. Цеолит NaA получил широкое распространение в очистке промышленных газов, а именно жирных углеводородных газов и органических соединений. Разделение на компоненты, основываясь на строении молекулярной цепи, возможно провести с применением цеолита CaA. Получил широкое распространение в очистке от серы и декарбонизации.

Повышение температуры рабочей среды повышает энергию вибрации структуры цеолитов и, соответственно, облегчает проникновение и выход молекул из адсорбционных полостей. Зная особенности кинетики адсорбции, можно добиться таких условий чтобы насыщение происходило в большей степени определёнными молекулами [5, 7, 8, 9].

2.1.4 Алюмогели

Широкое распространение в адсорбционной технике (рисунок 14) и нефтехимии алюмогели получили из-за доступности сырья для производства, относительно низкая трудоёмкость производства, а также термодинамическая стабильность [5, 7, 8].

Высокая поляризационная активность алюмогелей позволяет осушать газы до ТТР минус 60 °С. Также выступает в роли катализатора для конденсации непредельных углеводородов. При регенерации при высоких температурах не подвергается разрушению. Устойчивость к капельной влаге привела к тому, что в адсорбционной промышленности алюмогели получили

широкое распространение в условиях высокого влагосодержания и капельной влаги.



Рисунок 14 – Применение алюмогелей

Низкая способность взаимодействовать с кислотами обуславливает высокую эффективность очистки трансформаторных масел от продуктов окисления. Также для сохранения целостности приборов и аппаратов, переведенных в консервацию, широко применяется алюмогель. Способность химически взаимодействовать с фтором позволила найти применение в очистке фторсодержащих вод и газов.

Алюмогели как и все другие адсорбенты выпускаются в виде гранул. Система порового пространства включает в себя макропоры (до тысяч ангстрем) мезопоры и микропоры.

После анализа литературы создана сводная таблица характеристик рассмотренных адсорбентов (таблица 2).

Таблица 2 – Сводная таблица характеристик адсорбентов [5, 7, 8, 9]

Адсорбент	Плотность, г/см ³			Объем пор, см ³ /г	Радиус пор, Å	Удельная поверхность, м ² /г
	истинная	кажущаяся	насыпная			
КСМГ	2,1–2,3	1,3–1,4	0,8	0,28	5–30	450–500
КСКГ	2,1–2,3	0,75–0,85	0,5	0,9	70–100	270–350
Алюмогели			0,4–0,7	0,7–1	60–100	170–220
Активные угли	1,75–2,1	0,5–1	0,2–0,6	0,6–0,8	до 70	600–1700
Цеолиты:						
Ка	–	1,08–1,16	0,68–0,7	0,334	3	–
NaA	–	1,08–1,16	0,8	0,24	4	750–800
CaA	–	1,08–1,16	0,8	0,305	5	750–800
NaX	–	1,08–1,16	0,6	0,356	9–10	1030
CaX	–	1,08–1,16	0,6	0,362	8	1030

2.2 Типы адсорберов

В промышленности известны следующие методы адсорбционного извлечения: с неподвижным, подвижным и псевдоожиженным слоем адсорбента. Каждый тип адсорберов обладает рядом преимуществ в определенных условиях очистки веществ.

2.2.1 Адсорберы с неподвижным слоем адсорбента

Адсорберы с неподвижным слоем адсорбента конструктивно выпускают горизонтальными (рисунок 15) и вертикальными (рисунок 17). Величина заполнения адсорбентом зависит от расхода осушаемого газа и его влагосодержания. Высота слоя адсорбента обычно составляет от 2 до 12 метров. Очищаемый газ, проходя через слой адсорбента, очищается, а адсорбент насыщается. После насыщения адсорбер переводят в стадию десорбции и далее в стадию охлаждения. Высокая автоматизированность технологических процессов позволила исключить труд людей из управления процессом адсорбции [5, 7, 12].

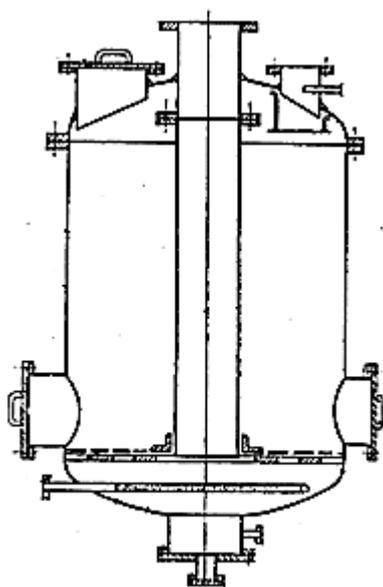


Рисунок 15 – Вертикальный адсорбер

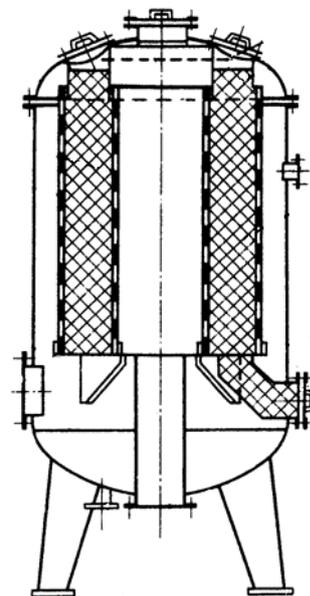


Рисунок 16 – Адсорбер кольцевого типа

Для обеспечения непрерывности работы установок в технологические нитки обычно устанавливается два и более адсорбера. В то время пока одни адсорберы находятся в стадии адсорбции другие адсорберы находятся в стадии десорбции или охлаждения. Длительность циклов устанавливают

таким образом, чтобы длительность стадии адсорбции превышала сумму длительности оставшихся стадий.

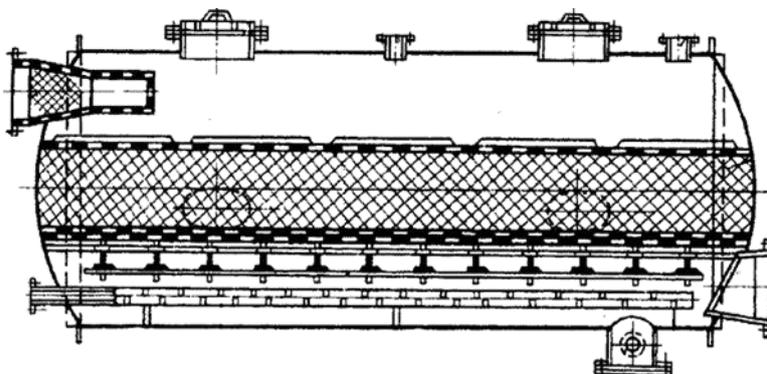


Рисунок 17 – Горизонтальный адсорбер

Поток газа, поступающий на осушку в адсорбер, проходит через верхний патрубок как в горизонтальном, так и в вертикальном исполнении затем проходит через слой адсорбента и покидает

адсорбер через патрубок в нижней части. Во время стадии десорбции газ регенерации, наоборот, поступает через нижний патрубок проходит через адсорбент и после регенерации покидает адсорбер через верхний патрубок.

Ключевой отрицательной особенностью горизонтальных адсорберов является неравномерность распределения потока газа по сечению адсорбера и, как следствие, образование застойных зон. Положительными же особенностями горизонтальных адсорберов являются простота конструкции и низкие значения гидравлического сопротивления.

Ещё одним видом адсорберов с неподвижным слоем адсорбента является адсорбер кольцевого типа (рисунок 16). Поток газа поступает от периферии и движется к центру через слой адсорбента к центру. При уменьшении количества адсорбента к центру уменьшается и содержание адсорбтива в газе. Аппараты данного типа характеризуются высокой производительностью при низком гидравлическом сопротивлении [5, 7, 12].

2.2.2 Адсорберы с движущимся слоем адсорбента

В отличие от адсорберов с неподвижным слоем адсорбента адсорберы с подвижным типом адсорбента являются действующими непрерывно. Обычно применяется два аппарата или две секции в одном аппарате для адсорбции и десорбции соответственно. Гранулы адсорбента по системе пневмотранспорта перемещаются из секции в секцию. Движение потока газа осуществляется в

противоток движению адсорбента. В нижней части аппарата осуществляется десорбция путем подачи нагретого газа регенерации, затем нагретый адсорбент направляется в верхнюю секцию и холодильник. Конструктивной особенностью таких аппаратов является наличие распределительных тарелок для выравнивания распределения адсорбента по сечению адсорбера (рисунок 18).

В случае наличия в потоке осушаемого газа хорошо адсорбируемых компонентов происходит значительное уменьшение адсорбционной активности адсорбента. Для десорбции таких компонентов в схему включают реактиватор, в котором создаются более жесткие условия для десорбции. Через реактиватор пропускают только часть движущегося адсорбента. С экономической точки зрения установка отдельного реактиватора считается более выгодной, так как отпадает необходимость создания таких условий во всем адсорбере [5, 12].

2.2.3 Адсорберы с псевдоожиженным слоем поглотителя

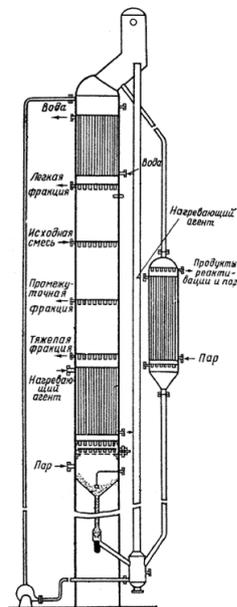


Рисунок 18 – Адсорбционная установка с движущимся слоем адсорбента

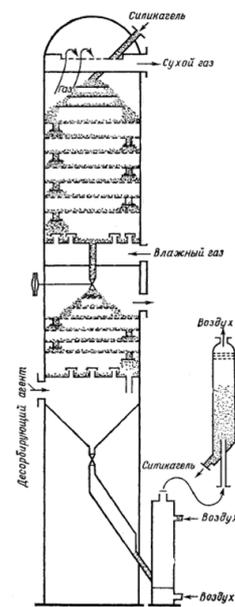


Рисунок 19 – Адсорбционно-десорбционный аппарат

Данный тип аппаратов (рисунок 19) также позволяет проводить непрерывный процесс адсорбции. Особенностью является размер гранул, он очень мал и обычно не превышает 0,5 мм.

Как и в предыдущем типе контакт адсорбента и потока газа осуществляется в противотоке. Адсорбент взаимодействует с газом на тарелках. Газ движется снизу и при взаимодействии адсорбент псевдооживается. Адсорбент же через переточные устройства движется с одной тарелки на другую сверху вниз. Для предотвращения уноса частиц адсорбента с потоком очищенного газа газ направляют через циклоны, в которых под действием центробежных сил отделяются гранулы адсорбента [5, 12].

3 **Объект и методы исследования**

4 Анализ технологии подготовки газа

4.1 Технология подготовки газа на Медвежьем нефтегазоконденсатном месторождении

4.2 Результаты расчётов размеров адсорберов с разными типами адсорбентов

По методике расчета технологических параметров адсорбера, приведенной в подразделе 3.5, были рассчитаны параметры адсорбера с силикагелем мелкопористым и цеолитом. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета адсорбера с различными типами адсорбента

Название параметра	Силика-гель КП	Силика-гель МП	Цеолит	Силика-гель МП*
Допустимая линейная скорость газа в адсорбере, м/мин	0,68	0,86	0,69	
Длительность цикла адсорбции, ч	8	8	8	
Число циклов адсорбции	3	3	3	
Диаметр адсорбера, м	1,5	1,5	1,5	
Линейная скорость газа в свободном сечении, м/мин	0,68	0,68	0,68	
Удельная нагрузка слоя по воде, кг/(м ² ·ч)	26	26	26	
Высота слоя адсорбента, м	3	3	3	
Минимально необходимая высота слоя адсорбента, м	2,69	1,68	2,34	
Продолжительность работы слоя до проскока влаги, ч	8,9	14,3	10,3	
Давление, больше которого должна быть прочность на раздавливание, кПа	16,2	22,0	22,3	
Масса адсорбента, т	2,6	4,2	3,7	

* – указаны расчеты для силикагеля мелкопористого, но с размерами адсорбера как по технологическому регламенту.

Так же был проведен расчет технологических параметров адсорбера на силикагеле мелкопористом с габаритами соответствующими технологическому регламенту УКПГ. Важно отметить, что в период падающей добычи существующие размеры адсорбера приводят к чрезмерной продолжительности цикла адсорбции в 47 часов в то время, как общепринятая продолжительность цикла адсорбции составляет 8–24 часа. Загрузка адсорбента превышает эмпирическую величину для текущих условий почти в три раза. Из-за большего диаметра, 2,7 м, линейная скорость газа в свободном сечении адсорбера уменьшилась почти в три раза.

4.3 Влияние типа адсорбента на технологические параметры процесса осушки

С целью сравнения рассчитанных технологических параметров процесса адсорбции для различных адсорбентов были построены графики, представленные на рисунках 24 и 25.

Из-за высокой адсорбционной способности цеолитов при низкой влажности газа относительно других адсорбентов, цеолит в заданных условиях потребовал большей высоты слоя адсорбента – 2,34 м– при прочих равных условиях в сравнении с силикагелем мелкопористым – 2,1 м (рисунок 24). Силикагель же, напротив, обладает высокой адсорбционной способностью при высокой влажности газа [17]. Технологическая эффективность применения силикагеля обусловлена меньшей минимальной высотой слоя адсорбента и большим временем работы слоя до проскока влаги – 14,26 часов (рисунок 25).

Ещё одним фактором в пользу применения силикагеля является температура регенерации – до 200 °С, в сравнении с цеолитом, требующем температуры регенерации порядка 300–350 °С.

Совокупность данных факторов свидетельствует, что применение силикагеля мелкопористого в период падающей добычи на месторождении Медвежье является технологически эффективным.

Следующим этапом в разделе 4.2 являлся расчет технологических параметров адсорбера при размерах по действующему технологическому регламенту, то есть при диаметре 2,7 м и высоте слоя адсорбента 3 м. Так расчеты свидетельствуют о значительном превышении технологических возможностей установки адсорбционной осушки природного газа над текущей загрузкой (минимально необходимая высота слоя адсорбента 0,51 м и время работы слоя до проскока влаги 47,4 ч (таблица 5).

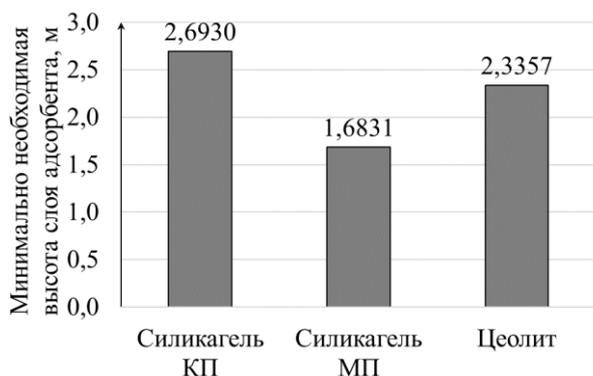


Рисунок 24 – Минимально необходимая высота слоя при использовании разных типов адсорбентов при $\varnothing=1,5$ м

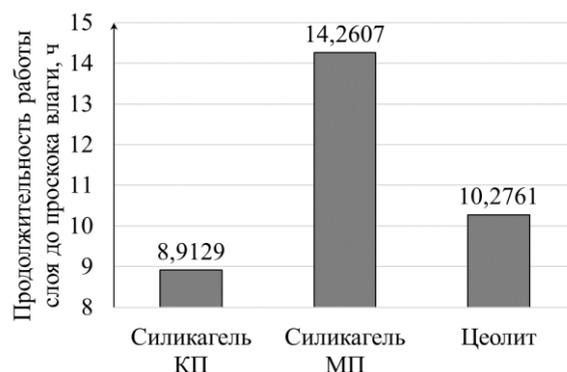


Рисунок 25 – Продолжительность работы слоя до проскока влаги при использовании разных типов адсорбентов при $\varnothing=1,5$ м

Отсюда вытекает предложение провести модернизацию технологической схемы Цеха (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления. А именно: объединить потоки с трех технологических цехов и направить их через один, один технологический цех перевести в резерв, а оставшиеся два законсервировать с дальнейшей возможностью вывода из консервации или передислокации на другие объекты предприятия.

4.4 Оценка технологической эффективности процесса подготовки газа по модернизированной схеме

В настоящее время В Цехе (ГП) №1 природный газ, согласно технологическому регламенту, природный газ поступает со скважин на распределительную гребенку, проходит через ПСПГ и направляется на ДКС, после которой охлаждается на АВО и поступает на 4 технологические нитки УКПГ и далее в межпромысловый коллектор, рисунок 26.

В разделе 4.3 доказана целесообразность применения силикагеля мелкопористого в качестве адсорбента в период падающей добычи, однако адсорбционные установки работают в недогруженном режиме.

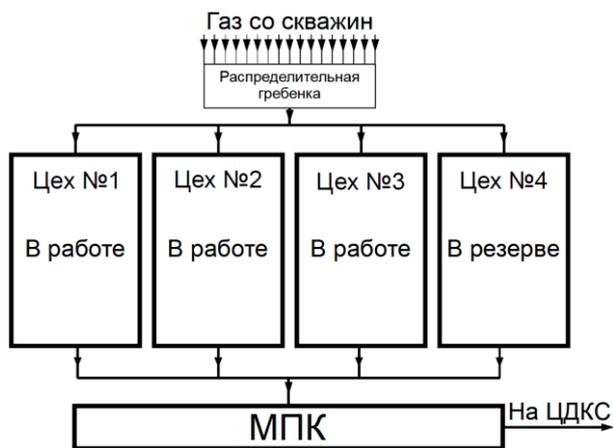


Рисунок 26 – Упрощенная схема движения природного газа по технологическому регламенту



Рисунок 27 – Упрощенная схема движения природного газа по предложенной схеме модернизации

Предложена схема модернизации УКПГ, точнее новая схема движения газа, которая подразумевает перепуск всего газа через одну технологическую нитку УКПГ. Для проверки возможности применения предложенной, измененной, схемы движения газа были определены технологические параметры адсорбера при пропуске газа, распределяемого на всю УКПГ, только через один цех, но при использовании действующего адсорбера, т.е. в расчетах принимались диаметр адсорбера 2,7 м и высота слоя адсорбента 3 м. В таком случае природный газ будет двигаться по схеме, представленной на рисунке 27. Результаты расчета представлены в таблице 6.

Результаты расчета показали, что допустимо увеличить продолжительность цикла адсорбции до 15 часов, так как при такой продолжительности минимально необходимая высота слоя адсорбента меньше высоты слоя адсорбента в действующем адсорбере.

Для оценки технологической эффективности применения силикагеля мелкопористого в различных диапазонах расхода осушаемого газа проведено исследование изменения максимального времени работы слоя до проскока влаги и минимально необходимой высоты слоя адсорбента от расхода газа, рисунок 28.

Заключительная стадия разработки месторождения характеризуется снижением уровня добычи газа. При использовании в настоящий момент

типоразмеров и загрузки адсорбера с малым коэффициентом запаса производительности, то в будущем ожидается его увеличение.

Таблица 6 – Результаты расчета технологических параметров адсорбера при трехкратном увеличении потока газа и реальных размерах адсорбера

Название параметра	Силикагель МП	Силикагель МП
Расход газа, млн. м ³ /сут		
Допустимая линейная скорость газа в адсорбере, м/мин		
Длительность цикла адсорбции, ч		
Число циклов адсорбции		
Диаметр адсорбера, м		
Линейная скорость газа в свободном сечении, м/мин		
Удельная нагрузка слоя по воде, кг/(м ² ·ч)		
Высота слоя адсорбента, м		
Минимально необходимая высота слоя адсорбента, м		
Продолжительность работы слоя до проскока влаги, ч		
Давление, больше которого должна быть прочность на раздавливание, кПа		
Масса адсорбента, т		

Рассмотрим подробнее область расхода газа свыше 2 млн. м³ (выделена красным, рисунок 28), рисунок 29.

Таким образом, расчетами показано, что при текущих условиях работы адсорбционные установки обладают большим запасом времени работы слоя до проскока влаги. Согласно предложенной схеме модернизации Цеха (ГП) №1 позволительно увеличить время периода адсорбции до 15 часов, что должно обеспечивать требуемые качества осушаемого газа в период падающей добычи.

Эффективность процесса адсорбционной осушки с изменением расхода газа можно также оценить по изменению диаметра адсорбера, его металлоемкости, массы адсорбента и расхода газа, рисунок 30.

Таким образом, увеличение расхода газа, поступающего на адсорбционную установку, диктует необходимость увеличения всех перечисленных параметров, что отражается ростом величин параметров на

графике. Наличие дискретных участков характеризуется округлением диаметра в большую сторону до десятых.

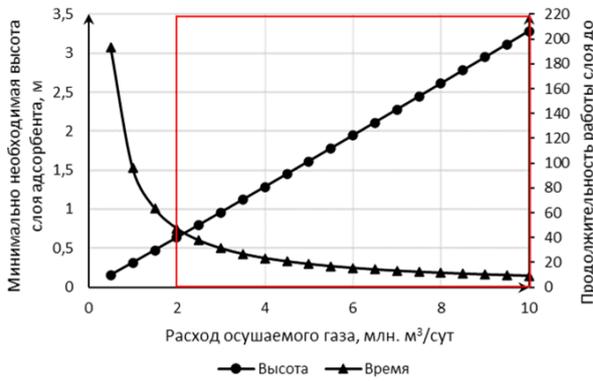


Рисунок 28 – Зависимость минимально необходимой высоты слоя адсорбента и максимального времени работы слоя до проскока влаги от расхода осушаемого газа при $\varnothing=2,7$ м

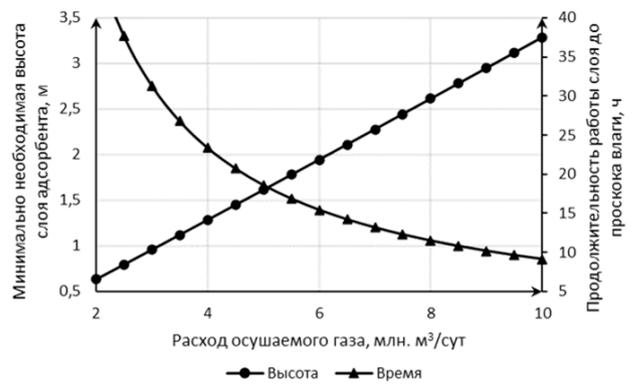


Рисунок 29 – Зависимость минимально необходимой высоты слоя адсорбента и максимального времени работы слоя до проскока влаги от расхода осушаемого газа в диапазоне свыше 2 млн. м³ при $\varnothing=2,7$ м

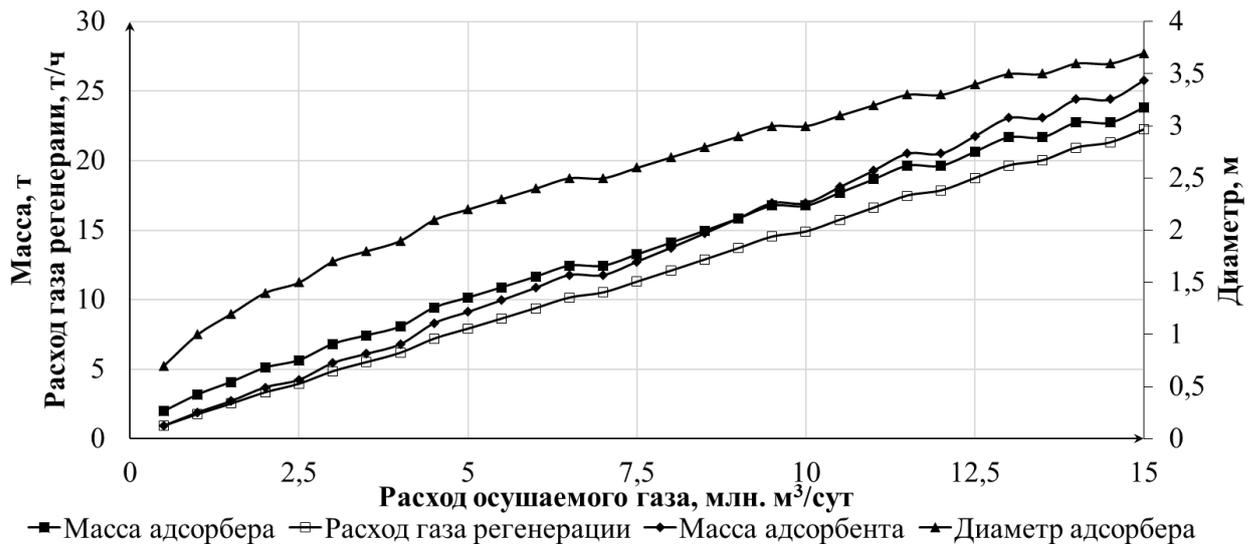


Рисунок 30 – Влияние расхода газа

Однако предложенную схему модернизации необходимо рассмотреть с точки зрения экономической эффективности, чтобы дать комплексную оценку эффективности применения данных предложений (Раздел 5).

ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Обучающемуся:

Группа	ФИО
2Б95	Трухачеву Максиму Сергеевичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	21.03.01 Нефтегазовое дело

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материальнотехнических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оценка стоимости материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов на проведение мероприятий по модернизации процесса адсорбционной осушки природного газа на Медвеьем нефтегазоконденсатном месторождении
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	1. Налоговый кодекс Российской Федерации. ФЗ-213 от 24.07.2009 (в редакции от 26.03.2022 №67-ФЗ) 2. Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 №1 (ред. от 27.12.2019) "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы"
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Обоснование перспективности модернизации процесса адсорбционной подготовки природного газа на Медвеьем нефтегазоконденсатном месторождении.
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Расчет доходов и затрат при переводе в консервацию двух технологических цехов.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности перевода в консервацию двух технологических цехов.

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком

Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Креницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б95	Трухачев Максим Сергеевич		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данном разделе выпускной квалификационной работы проведен расчет экономической эффективности предложенной модернизации технологического процесса адсорбционной осушки природного газа в Цехе (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления. Началом отсчета принято считать 1 января 2023 года. Фактом наличия экономической эффективности предлагаемой модернизации будет являться уменьшение эксплуатационных затрат предприятия на подготовку природного газа для магистрального транспорта согласно требованиям СТО Газпром 089-2010 [4].

5.1 Добыча газа

Основная деятельность УКПГ заключается в подготовке и поставке природного газа в магистральный трубопровод. Рассматриваемое УКПГ осуществляет подготовку газа в объеме 2.2 млрд м³/год [18]. Стоимость 1000 м³ Газа определяется на основе Прогноза долгосрочного социально-экономического развития до 2030 года [19] и Прогноза социально-экономического развития на 2022–24 гг. [20] (таблица 7).

При этом выручка будет определяться по формуле (3):

$$TR = Q_{г} \cdot P_{г} \quad (3)$$

Таблица 7 – Прогнозная цена на газ на 2022–2040 гг.

	2023	2024	2025–2040
Цена на природный газ, долл/1000 м ³ [19]	184	184	184
Обменный курс доллара, руб [20]	79,1	79,8	79,4
Цена на природный газ, руб/1000 м ³	14554,4	14683,2	14609,6

Стоит отметить нестабильность курса доллара в текущей геополитической обстановки в мире, поэтому дальнейшие расчеты можно характеризовать низкой прогнозной способностью.

5.2 Капитальные и эксплуатационные затраты

Предлагаемая схема модернизации УКПГ не предполагает капитальных затрат, так как предлагается перевод двух цехов в консервацию.

В расчете принято считать затраты на природоохранные мероприятия в размере 5 % от эксплуатационных затрат, а также возможно неучтенные прочие эксплуатационные вложения в размере 10 %.

5.2.1 Амортизационные отчисления

Переменные затраты включают в себя:

- затраты на электроэнергию для питания оборудования процессов компримирования газа, прокачки и регенерации гликоля;
- заработную плату сотрудникам, обеспечивающим работу УКПГ;
- затраты на капитальный ремонт и проведение технического обслуживания оборудования;
- амортизационные отчисления на оборудование в объеме процента от капитальных затрат.

Принимая во внимание, что оборудование в технологических цехах введено в эксплуатацию в 1974 году, принимаем, что срок полезного использования оборудования УКПГ истек, однако в 2019 году проведена реконструкция УКПГ.

5.2.2 Заработная плата

Объем отчислений в фонд заработной платы определяется типом и временем работы эксплуатируемого оборудования. Так, для стабильного обслуживания оборудования УКПГ, требуется 30 операторов добычи нефти и газа и слесари КИПиА, которые будут работать в две смены по 12 часов в день. Соответственно, за 350 рабочих дней в году будет 700 машино-смен.

$$ЗП = N_{\text{раб}} \cdot \text{Ставка} \cdot РК \cdot 12 = 30 \cdot 50000 \cdot 1,8 \cdot 12 = 32,4 \text{ млн. руб/год}$$

Кроме основной заработной платы производятся отчисления в пользу сотрудников в фонды: социального страхования – 2,9%; обязательного медицинского страхования – 5,1%, пенсионный – 22%, а также страхование от несчастных случаев в размере 7,4% + 14,9% (ставка в отношении опасного производственного объекта) [21]. Сумма страховых выплат получается равной:

$$32,4 \cdot (0,029 + 0,051 + 0,22 + 0,085) = 12,47 \text{ млн. руб/год}$$

Предлагаемая модернизация предполагает перевод двух цехов в консервацию, соответственно возможно сокращение 60 % персонала. В таком случае затраты на заработную плату и сумма страховых выплат составят соответственно:

$$\begin{aligned} \text{ЗП} &= N_{\text{раб}} \cdot \text{Ставка} \cdot \text{РК} \cdot 12 = 30 \cdot 50000 \cdot 1,8 \cdot 12 = 12,96 \text{ млн. руб/год} \\ &32,4 \cdot (0,029 + 0,051 + 0,22 + 0,085) = 4,99 \text{ млн. руб/год} \end{aligned}$$

5.2.3 Затраты на эксплуатацию оборудования

Данная статья эксплуатационных затрат включает в себя обеспечение оборудования УКПГ электроэнергией и перегрузку адсорбента.

Цена на электроэнергию определяется ценовой политикой региона и зависит от поставщика. Для текущих расчетов примем цену 3000 руб/(МВт*ч), и ставку электроэнергии 860 тыс. руб/МВт мощности в месяц.

КПД агрегатов УКПГ составляет $\eta = 0,95$.

По существующей технологии максимальное потребление составляет 17,3 МВт-ч.

Норма расхода электроэнергии определяется:

$$P_n = \frac{P_k}{\eta} \cdot t_{\text{см}} \cdot n_{\text{см}} = \frac{17,3}{0,95} \cdot 12 \cdot 700 = 152968,4 \text{ МВт} - \text{ч/год}$$

где P_k – текущее потребление электроэнергии МВт-ч/ч,

$t_{\text{см}}$ – продолжительность машино-смены,

$n_{\text{см}}$ – количество машино-смен в году.

Затраты на данный объем электроэнергии определяется по формуле:

$$\begin{aligned} C_{\text{эл}} &= P_n \cdot C_{\text{кол}} + P_k \cdot C_{\text{мощ}} = \\ &= 152968,4 \cdot 3000 + 17,3 \cdot 860000 = 473,78 \text{ млн. руб/год} \end{aligned}$$

где $C_{\text{кол}}$ – цена за 1 МВт-ч/ч,

$C_{\text{мощ}}$ – цена за 1 МВт поставляемой мощности.

При консервации двух цехов количество работающих агрегатов сокращается на 40 %, соответственно максимальное потребление снизится до 10,38 МВт-ч.

$$P_n = \frac{10,38}{0,95} \cdot 12 \cdot 700 = 91,781 \text{ МВт} - \text{ч/год}$$

$$C_{\text{эл}} = 91,781 \cdot 3000 + 10,38 \cdot 860000 = 284,3 \text{ млн. руб/год}$$

Перегрузку адсорбента в адсорберах производят каждые 2 года, для упрощения расчетов принимаем что перегрузка производится единовременно. Также разделяем затраты на каждый год.

$$C_{ад} = \frac{m_{ад} \cdot C_{ад}}{2} = \frac{13,7 \cdot 8 \cdot 255000}{2} = 13,97 \text{ млн. руб/год}$$

По предложенной схеме модернизации предполагается перевод двух технологических цехов в консервацию, то есть количество адсорберов сокращается вдвое.

$$C_{ад} = \frac{13,7 \cdot 4 \cdot 255000}{2} = 6,99 \text{ млн. руб/год}$$

5.3 Налоговые отчисления

Кроме эксплуатационных затрат, к ежегодным растратам можно отнести налоговые отчисления. Они включают в себя налог на добычу полезных ископаемых, налог на имущество и прочие налоги (земельный, водный, транспортный).

В качестве размера НДС на добычу природного газа было принято значение из отчетных данных по форме №5-НДС Федеральной налоговой службы по состоянию на 01.10.2021, в разрезе субъектов РФ. Значение оказалось равным 897,69 руб/1000 м³ добытого газа.

Прочие налоги, включающие в себя земельный, водный и транспортный, определяются по ставке 1,5 % от выручки за текущий временной период.

Налог на имущество организаций определяется по ставке 2,2 % от текущей стоимости основных производственных фондов

5.4 Определение экономической эффективности

Экономическая эффективность предлагаемых мероприятий будет оценена на основе изменения значения чистого дисконтированного дохода до 2030 года при условии модернизации в 2023 году.

Чистый дисконтированный доход за текущий год можно оценить по формуле:

$$DCF = \frac{NCF}{(1 + r)^m}$$

где DCF – дисконтированный денежный поток за рассматриваемый год, млн. руб.,

NCF – чистый денежный поток за рассматриваемый год, млн. руб.,

r – ставка дисконтирования, определяемая Центральным Банком Российской Федерации, %,

m – количество времени, прошедшее с начала исследования, лет.

Денежный поток за каждый календарный год определяется, как разность между выручкой и суммой текущих (эксплуатационных) затрат, налога на добычу полезных ископаемых, налога на прибыль. Налог на прибыль составляет 20% от валовой прибыли (выручки за вычетом эксплуатационных затрат и НДС).

В результате получаются значения накопленного чистого дисконтированного дохода для каждого из вариантов, представленные в таблице ниже. Значение ставки дисконтирования r принимается равным 14 %.

Денежные потоки за рассматриваемый период представлены в таблице 8. Таким образом за 7 лет предполагается получение дополнительной прибыли в размере 1,05 млрд. рублей.

Таблица 8 – Денежные потоки, млрд. руб.

Год	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	ИТОГО
Выручка	32,02	32,3	32,14	32,14	32,14	32,14	32,14	32,14	257,17
Налоги	7,86	7,92	7,89	7,89	7,89	7,89	7,89	7,89	63,12
Налоги*	7,91	7,97	7,94	7,94	7,94	7,94	7,94	7,94	63,51
Эксплуатационные затраты	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	4,79
Эксплуатационные затраты*	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	2,8
NCF	23,56	23,78	23,65	23,65	23,65	23,65	23,65	23,65	189,27
NCF*	23,76	23,98	23,85	23,85	23,85	23,85	23,85	23,85	190,86
DCF	23,56	20,86	18,2	15,97	14,01	12,29	10,78	9,45	125,11
DCF*	23,76	21,04	18,35	16,1	14,12	12,39	10,87	9,53	126,16
NPV	23,56	44,42	62,62	78,59	92,59	104,88	115,66	125,11	
NPV*	23,76	44,79	63,15	79,25	93,37	105,76	116,63	126,16	

* – величины после модернизации.

Внутренняя норма доходности (IRR) – значение принимаемой ставки r, при которой накопленный дисконтированный денежный поток к концу рассматриваемого периода будет равен нулю. То есть минимальная

процентная ставка, при которой вложенные инвестиции перестанут окупаться проектом. Данный параметр позволяет определить, насколько безопасным окажется инвестирование в тот или иной проект в долгосрочной перспективе. В случае рассмотренных модернизаций не предполагается отрицательных денежных потоков. Это является объективным гарантом безопасности и окупаемости вкладываемых в модернизацию средств при любой ставке дисконтирования.

Выручка превышает расходы, то прибыль поступает в первый же год. Проект окупается в первый год. По результатам оценки можно сделать вывод о наличии положительной экономической эффективности предлагаемых модернизаций.

Вывод по разделу

В результате осуществления предлагаемой модернизации, за счет перевода двух цехов в консервацию, происходит снижение эксплуатационных расходов. Это приводит к увеличению значения накопленного чистого дисконтированного дохода к концу рассматриваемого периода времени. Так, при перестройке существующего технологического процесса осушки природного газа значение NPV на 2030 год увеличивается на 1050,4 млн. руб. Прибыль при осуществлении данной модернизации ожидается сразу после проведения модернизации.

ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

Группа	ФИО		
2Б95	Трухачеву Максиму Сергеевичу		
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	21.03.01 Нефтегазовое дело

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<p>Объект исследования: анализ технологии адсорбционной осушки природного газа на нефтегазоконденсатном месторождении Медвежье (ЯНАО)</p> <p>Область применения: газовые, газоконденсатные и нефтегазоконденсатные месторождения</p> <p>Рабочая зона: цех №1 Цеха (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления</p> <p>Размеры помещения: 20×50 м²</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: адсорберы, сепаратор, горизонтальный, сепаратор вертикальный, краны шаровые.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</p> <p>Сепарация жидкости, поглощение паров воды и нестабильной углеводородной жидкости, отделения и улавливания десорбируемой жидкости</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>– Федеральный Закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» №116-ФЗ от 21.07.1997г. (с изменениями от 11 июня 2021 года.);</p> <p>– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности", утвержденные Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, приказ от 12.03.2013 № 101 (с изменениями от 19 января 2022 года).</p> <p>– «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности" (вместе с "Правилами организации и осуществления производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности") - утверждены Постановлением № 2168 Правительства РФ от 18.12.2020 г.</p> <p>– «ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР», 1986 г. с изменениями от 2000 г.</p> <p>– Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением", утвержденные Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору приказ от 25.03.2014 г. №116.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p>	<p>Потенциально вредные производственные факторы:</p> <p>– действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего, стоящего на опорной поверхности, на эту же опорную поверхность;</p> <p>– опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания, то есть с</p>

<p>2.1 Анализ потенциально вредных и опасных факторов</p> <p>2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>аномальным физическим состоянием воздуха (в том числе пониженной или повышенной ионизацией) и (или) аэрозольным составом воздуха;</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума. – отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; – производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания. <p>Потенциально опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего с высоты; – производственные факторы, связанные с электрическим током; – производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм, работающего. <p>Требуемые средства защиты: защитные костюмы, наушники, защитные ограждения, приточно-вытяжная вентиляция, система контроля состояния воздушной среды, световая и звуковая сигнализация о превышении ПДК метана и углекислого газа в воздухе.</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Воздействие на атмосферу: выделение загрязняющих веществ из негерметичного оборудования.</p> <p>Воздействие на литосферу: утилизация бытовых отходов.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Возможные ЧС: пожар, взрыв, утечка газа, утечка ЖУС, гидратообразование.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: утечка газа.</p>

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	
---	--

Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович	-		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б95	Трухачев Максим Сергеевич		

6 Социальная ответственность

Газовые промыслы отличаются высоким уровнем опасности и возможностью возникновения экстремальных ситуаций, угрожающих здоровью рабочего персонала. Добыча природного газа – это трудоемкий, сложный и опасный процесс, требующий строгого соблюдения техники безопасности.

Соответственно, газодобывающие предприятия признают приоритет жизни и здоровья сотрудников, уделяя большое внимание промышленной безопасности и охране труда. Поэтому необходимо обоснование требований и мер безопасности при выполнении различных видов работ. В частности, в работе проведен сравнительный анализ технологии адсорбционной осушки природного газа с использованием цеолита и силикагеля. Оценена технологическая эффективность адсорбентов.

В связи с этим необходима разработка мероприятий по оздоровлению и улучшению условий труда, главной целью которых должно быть создание благоприятных условий, необходимых для высокопроизводительного труда и устранения профессиональных заболеваний, производственного травматизма и причин им способствующих. Это возможно только лишь при соблюдении строгой дисциплины всем персоналом при выполнении работ и следовании инструкциям по охране труда.

6.1 Правовые и организационные вопросы

Правовые и организационные вопросы по добыче газа, связанные с работой вахтовым методом, решаются согласно 47 главе Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ [27].

Рабочие смены оператора по добыче нефти и газа делятся на две, по 12 часов каждая, так как необходим бесперебойный контроль за состоянием скважин. Женщины, подростки и сотрудники, не имеющие соответствующего доступа, к работе не допускаются. Перед началом работы каждый работник должен быть снабжён спецодеждой в количестве двух комплектов.

Работы на газовых промыслах относятся к числу вредных и опасных для здоровья трудящихся, поэтому для оных предусмотрены различные льготы и компенсации в случае получения ими физического ущерба. К таким относятся увеличение оплаты труда, льготные пенсионные отчисления, а также дополнительный оплачиваемый отпуск, предоставляемый каждый год.

Оператор добычи ежедневно контактирует с промышленным оборудованием, которое должно отвечать определенным требованиям надежности согласно ГОСТ Р ИСО 14738–2007 [28].

С целью обеспечить устранение или снижение опасных и вредных факторов до соответствующих значений, в конструкцию оборудования должны входить различные защитные средства, и она должна обеспечивать удобное выполнение трудовых обязанностей оператора. Технологические мероприятия, проводимые специалистами по добыче нефти и газа, в основном производятся в стоячем положении, поэтому рабочая область должна соответствовать требованиям, которые учитывают удобное выполнение работ в положении стоя согласно ГОСТ 12.2.033–78 ССБТ [29]. Основными элементами технологического оборудования, с которыми сталкиваются специалисты ДНГ, являются задвижки, дроссели, краны различного исполнения, работа с которыми должна производиться согласно определенным рекомендациям и требованиям согласно ГОСТ 21753–76 [30]

Рабочее пространство и рабочее место должны проектироваться в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6385–2016 [31].

Компоновка рабочего пространства должна быть спроектирована для удобного выполнения трудовых обязанностей оператора. Так как основная рабочая зона оператора – это кустовая площадка, то расположение объектов на ней должно соответствовать утверждённой принципиальной схеме, разработанной с учётом особенностей производственных условий и удобства работы с оборудованием, входящим в неё.

6.2 Производственная безопасность

При добыче и подготовке газа на людей, окружающую среду и инженерно-технический комплекс предприятия оказывают следующие потенциальные вредные и опасные факторы, таблица 9.

Таблица 9 – Потенциально опасные и вредные факторы при выполнении работ

Факторы (ГОСТ 12.0.003–2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление материалов	Эксплуатация	
1) Действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего с высоты;	-	-	+	ГОСТ Р 12.3.050-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Строительство. Работы на высоте. Правила безопасности [31].
2) Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума;	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [32]; ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности [33].
3) Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 2305-95*. [34].
4) Производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания;	+	+	+	ГОСТ 12.4.296-2015. ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания [35].
5) Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм работающего;	-	+	+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [36].
6) Производственные факторы, связанные с электрическим током;	+	+	+	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление [37]; Правила устройства электроустановок. Общие правила. Седьмое издание [25].

6.2.1 Анализ потенциально вредных и опасных производственных факторов

Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума

В цехе №1 Цеха (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления повышенный уровень шума создается движением больших объёмов природного газа под большим давлением в технологических трубопроводах, трубопроводах-обвязках, а также при проходе газа через сепараторы и адсорберы. Персонал находится в зоне воздействия шумов в период смены, то есть от 8 до 12 часов.

Для снижения негативного воздействия шума на человеческий организм на предприятии проводят следующие мероприятия: агрегаты размещены в полностью автоматизированных и не требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала блоках; помещения отделаны звукопоглощающими материалами; шире применяется принудительное смазывание трущихся поверхностей, обслуживающий персонал снабжается СИЗ органов слуха.

Условия труда по шумовому фактору соответствуют требованиям ГОСТ согласно специальной оценке условий труда [38]. Эквивалентный уровень звукового давления ≤ 80 ДБа

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

С позиции безопасности труда организация правильного освещения, зрительная способность и зрительный комфорт чрезвычайно важны. Так в цехе №1 Цеха (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления искусственное освещение представлено прожекторами и лампами в пожаровзрывозащищённом исполнении.

В случаях недостаточного освещения рабочей зоны предусмотрено использование переносных фонарей.

Условия труда по световому фактору соответствуют требованиям ГОСТ согласно специальной оценке условий труда на предприятии [38].

Производственные факторы, связанные с повышенной загазованностью воздуха в рабочей зоне

Загрязнение воздушной среды происходит в результате поступления в него: продуктов сгорания природного газа на факелах, а также утечек природного газа через неплотности фланцевых соединений фонтанной арматуры, сепараторов и ёмкостей, дыхательных клапанов резервуаров. Во избежание попадания токсичных веществ в организм человека через дыхательные пути, применяются такие средства индивидуальной защиты как противогазы типа ПШ-1, ПШ-2, кислородно-изолирующие противогазы ИП-4, применяющиеся при высоких концентрациях сероводорода, а также применяются респираторы.

Для определения состояния воздушной среды и своевременно устранения причин загазованности на взрывопожарных объектах Цеха (ГП) №1 организован непрерывный контроль воздушной среды на содержание токсичных и взрывоопасных концентраций паров и газов в производственных помещениях и рабочих зонах с использованием автоматических стационарных сигнализаторов (СТМ30-54, ГАЗ-3), заблокированных с аварийной сигнализацией. Производственные помещения, здания и территория УКПГ оборудованы Системой пожаробнаружения, пожаротушения и контроля загазованности. Анализ источников опасных производственных факторов

В местах, где отсутствуют стационарные приборы контроля взрывоопасных и токсичных концентраций воздушной среды, в местах проведения газоопасных и огневых работ, контроль осуществляется с помощью переносных газоанализаторов (СГГ-20).

Условия труда по загазованности рабочей зоны соответствуют требованиям ГОСТ согласно специальной оценке условий труда [38].

Падение с высоты

Работами на высоте являются все работы, которые выполняются от поверхности площадки на расстоянии 1,5 м. При очистных и ремонтных мероприятиях, работники проводят работы на высоте. Они осуществляются с помощью креплений на под страховочные стропы, а также с использованием лестниц и стремянок.

Типичные профессиональные заболевания или травмы – кататравма, ушибы мозга с обширными гематомами, звездчатые переломы черепа, травмы нижних конечностей, травмы нижних конечностей, переломы позвоночника и др.

Работы на высоте выполняются с помощью исправных оградительных средств, защитных приспособлений, предохранительных поясов и страховок. Работа на высоте должны выполняться работниками в касках согласно ГОСТ 12.4.087-84 [39]. Во избежание ЧС необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты (каска, спецодежда, резиновая обувь), страховочными стропами, лестницами и стремянками.

При соблюдении техники безопасности при работе на высоте риск получения травм сводится к минимуму.

Факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека

Из химических негативных факторов в цехе №1 Цехе (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления выделяется воздействие вредных паров метанола на организм человека через его органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки. ПДК метанола Отравление природным газом и ингибиторами случается вследствие не герметичности труб, емкостей для хранения ядовитых веществ. Установлено, что токсичность веществ в определенном температурном диапазоне является наименьшей, усиливаясь как при повышении, так и понижении температуры воздуха.

Повышенная влажность воздуха увеличивает опасность отравления раздражающими газами. Причиной этого служит усиление процессов гидролиза, повышение задержки ядов на поверхности слизистых оболочек, изменение агрегатного состояния ядов. Изменение атмосферного давления также влияет на токсический эффект.

В качестве мер индивидуальной защиты при работе с токсическими веществами применяют спецодежду, особые костюмы, головные уборы, перчатки, респираторы, противогазы, глаза защищают предохранительными очками. Перед началом работ обязательно проверяют исправность вентиляции, оборудования, наличие и состояние средств индивидуальной защиты. Обслуживающий персонал проходит специальный инструктаж. Складские помещения для токсических веществ располагают на определённом отдалении от рабочих помещений с учётом “розы ветров”, при этом планировочная отметка склада не превышает планировочной отметки рабочих помещений.

Кроме средств и устройств сигнализации, которые связаны непосредственно с самими технологическими процессами, имеются также приборы и устройства, сигнализирующие о появлении ядовитых веществ в атмосфере рабочего места и др. При соблюдении указанных организационных и технических мер риск отравления ядовитыми химикатами сводится к минимуму.

Производственные факторы, связанные с электрическим током

Согласно правилам устройства электроустановок [25] цех №1 Цеха (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления по степени поражения электрическим током относится к помещениям без повышенной опасности.

Основными мерами защиты от разрядов статического электричества являются предотвращение накопления зарядов на металлическом оборудовании и предотвращение накопления зарядов на твердых и в жидких диэлектриках.

Для предотвращения накопления зарядов на оборудовании все металлические части, на которых могут появиться заряды (аппараты, резервуары, трубопроводы, сливо-наливные устройства, эстакады и др.), должны быть заземлены.

Устройства защиты зданий и сооружений УКПП от прямых ударов молний, вторичных проявлений молний и разрядов статического электричества необходимо постоянно содержать в технически исправном состоянии, проверять их в установленные сроки, не реже одного раза в год.

Для защиты электротехнического персонала от поражения электрическим током используются следующие средства защиты:

- ограничение доступности токоведущих частей (используется защитный кожух, корпус, электрический шкаф, использование блочных схем, строительство воздушных линий электропередачи и т.д.);
- маркировка отдельных частей электрооборудования, надписи, предупредительные знаки, разноцветная изоляция, световая сигнализация.
- заземление оборудования, работающего под напряжением, зданий, вагончиков, техники, блок - понтонов;
- защитное отключение оборудования, находящегося под повышенным напряжением, снижение напряжения.

При обслуживании электроустановок напряжением до 1000 В применяют следующие изолирующие защитные средства: диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными рукоятками, указатели напряжения и к дополнительным - диэлектрические галоши и резиновые коврики, и изолирующие подставки.

При соблюдении указанных организационных и технических мер риск поражения электрическим током сводится к минимуму.

6.3 Экологическая безопасность

На газодобывающем предприятии осуществляется планирование и реализация комплекса организационных мероприятий по обеспечению безопасности технических систем и производственных процессов и снижению негативного влияния на окружающую среду.

6.3.1 Защита атмосферы

Данный подраздел разработан на основании следующих нормативных актов:

- Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ [40];
- Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ [41].

От объектов УКПГ в атмосферный воздух выделяется 24 наименования загрязняющих веществ, из которых наибольший объем имеют метан и продукты его сгорания (окись углерода и окислы азота). В нормальном режиме эксплуатации источниками выделения метана являются неплотности оборудования и арматуры. Основной объем метана сбрасывается в атмосферу в виде залповых выбросов при проведении ремонтных работ, пуске (останове), продувке основного оборудования.

Источниками выделения окиси углерода и окислов азота в атмосферу являются дымовые газы, полученные при сжигании газа в:

- подогревателях газа регенерации;
- подогревателях гликоля;
- установке термического обезвреживания стоков ГФУ-5.

Продукты сгорания выбрасываются в атмосферу через выхлопные трубы. Сбросные газы УКПГ сбрасываются на свечу рассеивания высокого и низкого давлений.

С целью защиты атмосферы от загрязнений поддерживается герметичность системы сбора и транспорта газа; ведется контроль за

воздушной средой на основных газопромысловых объектах для определения опасной концентрации газов.

6.3.2 Защита литосферы

Данный подраздел разработан на основании следующих нормативных актов:

- Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ [40];
- Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ [42].

Отходы в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду подразделяются в соответствии с критериями, установленными федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим государственное регулирование в области охраны окружающей среды, на пять классов опасности [42]:

- I класс – чрезвычайно опасные отходы;
- II класс – высоко опасные отходы;
- III класс – умеренно опасные отходы;
- IV класс – малоопасные отходы;
- V класс – практически неопасные отходы.

Обращение с опасными отходами производится в соответствии с «Проектом нормативов образования отходов и лимитов на их размещение для Медвежинского газопромыслового управления» и «Документом об утверждении нормативов образования отходов и лимитов на их размещение».

В процессе эксплуатации УКПГ-1 образуются следующие отходы производства и потребления:

- ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки отработанные и брак;
- отходы производства и потребления IV – V классов опасности, подлежащие размещению на полигоне ТБО;
- отходы, загрязненные нефтепродуктами;

- отработанные нефтепродукты;
- отходы лома черных и цветных металлов;
- отработанные аккумуляторы.

В период эксплуатации объектов УКПГ-1 отходы производства и потребления должны накапливаться в местах временного хранения, обустроенных в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды и законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, в целях их дальнейшего использования, обезвреживания, размещения, при соблюдении следующих условий:

- отходы I класса опасности (ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки отработанные и брак) разрешается хранить исключительно в герметичных сменных емкостях в закрытом помещении, исключая доступ посторонних лиц;

- отходы II класса опасности (аккумуляторы свинцовые отработанные неповрежденные, с электролитом) накапливаются в местах временного хранения. Не допускается хранение аккумуляторных батарей на открытых площадках;

- отходы III класса опасности (отработанные нефтепродукты, отходы, загрязненные нефтепродуктами): накопление отработанных масел необходимо осуществлять отдельно от других отходов в специальные металлические емкости, которые должны быть установлены на железобетонных покрытиях. Заполнение емкости производится до 90 % объема для предотвращения разливов при транспортировке.

Отработанные фильтры, обтирочный материал, спецодежда, опилки, загрязненные нефтепродуктами, собираются в металлические контейнеры. По окончании рабочей смены содержимое указанных контейнеров должно удаляться за пределы производственных помещений.

– отходы IV – V классов опасности (отходы, загрязненные нефтепродуктами (Содержание нефтепродуктами менее 15%); отходы производства и потребления; отходы лома черных и цветных металлов):

Отходы, загрязненные нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов менее 15 %), собираются в металлические контейнеры. По окончании рабочей смены содержимое указанных контейнеров должно удаляться за пределы производственных помещений.

Отходы производства и потребления IV – V классов опасности, подлежащие размещению на полигонах, собираются в металлических контейнерах.

Лом и отходы черных и цветных металлов несортированные незагрязненные накапливаются в закрытых металлических контейнерах либо на обустроенных открытых площадках.

По мере накопления отходы направляются на утилизацию, обезвреживание и размещение (захоронение) по договорам со специализированными предприятиями, имеющими лицензию на осуществление деятельности по обращению с отходами.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Классификация технологических блоков Цеха (ГП) №1 по взрывоопасности осуществляется в соответствии с требованиями действующих нормативных технических документов в области промышленной безопасности в нефтяной и газовой промышленности.

Так технологический цех №1 Цеха (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления относится к категории А взрыво- и пожарной опасности согласно НПБ 105 [43] и НПБ 107 [43], и к категории и группе ПА Т2 классификации взрывоопасной смеси по ГОСТ Р 51330.19-99 [44].

Во избежание создания на УКПГ ситуаций, связанных с возникновением пожаров и взрывов; утечек газа и других аварийных ситуаций, обслуживающий персонал обязан:

- вести технологический процесс согласно установленным нормам технологического режима, в том числе по промышленным стокам и выбросам в атмосферу;

- постоянно следить за нормальной работой и строго соблюдать требования действующих рабочих инструкций по безопасной эксплуатации технологического оборудования; КИПиА; систем электроснабжения; вентиляции; насосного оборудования; газопроводов, трубопроводов горячей воды; грузоподъемных механизмов; систем контроля загазованности, противопожарной защиты и сигнализации;

- своевременно переключаться на резервное оборудование и проводить планово-предупредительные ремонты;

- соблюдать правила промышленной и пожарной безопасности, охраны труда, производственной санитарии на рабочих местах и территории УКПГ.

Технологические аппараты и отдельные узлы установки, работающие под избыточным давлением выше 0,07 МПа, а также материалы для их изготовления должны соответствовать требованиям ФНиП в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» [45].

Во всех производственных помещениях УКПГ необходимо применять электрооборудование в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» [25].

В соответствии с федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» Газовый промысел №1 является опасным производственным объектом [26].

Опасность названного объекта обусловлена характеристикой и свойствами обращающихся в производстве веществ (сырья, реагентов, продукции) их рабочими параметрами (давление, температура, количество),

наличием оборудования и технологических трубопроводов, работающих под давлением.

Объекты Цеха (ГП) №1 оснащены противопожарным оборудованием и согласно нормам средствами пожаротушения, к которым относятся:

- пожарные водоемы и пожарные насосы-повысители

Пожарные насосы-повысители располагаются в водонасосной станции 2-го подъема, предназначаются для повышения давления и расхода воды в системе пожарного водоснабжения объектов. В Цехе (ГП) № 1 забор воды пожарными насосами-повысителями осуществляется, из 2-х резервуаров емкостью 1000 м³ каждый.

- Пожарные гидранты и водопроводные сети

Пожарные гидранты (ПГ) расположены на внешних сетях водоснабжения объектов. В зависимости от подземного или надземного исполнения внешних водопроводов ПГ могут быть расположены в колодцах или на надземных частях водопроводов. Расстояние между ПГ не должно превышать 100 метров.

- Пожарные краны

Пожарные краны (ПК) расположены на внутренних сетях водоснабжения объектов. Каждый ПК должен быть укомплектован рукавом и стволом. Пожарный рукав должен быть присоединен к ПК и стволу. Краны, рукава и стволы должны содержаться в исправном и комплектном состоянии.

- Первичные средства пожаротушения

К основным первичным средствам пожаротушения, применяемым на объектах подразделения управления, относятся:

Кошма – используется как средство изоляции при тушении незначительных загораний при воспламенении веществ, горение которых не может происходить без доступа воздуха.

Песок – используется как средство изоляции при тушении незначительных загораний. Ящики для хранения песка должны быть вместимостью 0,5 м³ и комплектоваться совком или совковой лопатой.

Пожарный щит. Комплектуется багром, топором, совковыми и штыковыми лопатами, ведрами, огнетушащими веществами (бочка с водой, ящик с песком, огнетушители и т.п.);

Огнетушители порошковые или углекислотные различных емкостей и модификаций.

6.5 Выводы по разделу социальная ответственность

В данном разделе были рассмотрены потенциально вредные и опасные факторы, которые могут оказать влияние на организм работника во время проведения мероприятий по адсорбционной осушке природного газа. Выполнение мер безопасности и мер по предупреждению опасных факторов позволит избежать наступления ЧС и сократить вредное воздействие на работников предприятия.

Выполнение всех требований по охране труда и соблюдения правил безопасности позволяет предотвратить возникновение чрезвычайных ситуаций. Обеспечение безопасности людей и окружающей среды на производстве является краеугольным камнем эффективности осуществления всех производственных процессов, поэтому вопросы безопасности должны быть предопределены в первую очередь.

Заключение

В выпускной квалификационной работе бакалавра проведен анализ комплексной подготовки природного газа Цеха (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления. Изучена адсорбционная осушка природного газа: физико-химические основы адсорбции, основные виды применяемых адсорбентов и типы адсорберов.

Нефтегазоконденсатное месторождение Медвежье территориально расположено в Ямало-Ненецком автономном округе Тюменской области. Основную сложность освоения составляет болотистая местность с большим количеством озер. Апт-Сеноманский газоносный горизонт сложен преимущественно песчаниками с прослоями алевролита-аргиллитных отложений. В разрезе месторождения присутствуют и другие нефтегазоносные горизонты, однако разрабатывается только Апт-Сеноманский газоносный комплекс. Месторождение находится на заключительной стадии разработки и характеризуется падением темпов добычи и ростом обводненности добываемой продукции.

В результате расчетов определено, что в текущих условиях добычи при пропуске газа через одну технологическую нитку УКПГ минимальный необходимый диаметр адсорбера составит 1,5 метра и высота слоя адсорбента 3 метра. Установлено, что в текущих условиях разработки эффективным адсорбентом с технологической точки зрения является силикагель мелкопористый в сравнении с силикагелем крупнопористым и цеолитом. Это подтверждается минимальной необходимой высотой слоя адсорбента 1,68 м и максимальным временем работы слоя до проскока влаги 14,3 часа.

Предложена схема модернизации УКПГ Цеха (ГП) №1 Медвежинского газопромыслового управления, которая предполагает перевод всего потока газа на одну технологическую нитку УКПГ. Доказана технологическая возможность реализации предложенной схемы модернизации при пропуске всего газа через адсорбер с действительными размерами – диаметром 2,7 метра и высотой слоя адсорбента 3 метра. При пропуске через адсорбер с такими

размерами 6 млн. м³/сут осушаемого газа, минимально необходимая высота слоя адсорбента составила 1,56 метра и продолжительность работы слоя до проскока влаги 15,4 часа, что превышает величину длительности цикла адсорбции по технологическому регламенту.

Превышение данных значений для действующих адсорбционных установок свидетельствуют о присутствии некоторого запаса производительности установок, что в случае разработки других нефтегазоносных комплексов позволит подготавливать большие объёмы газа, вплоть до 9 млн. м³ в сутки через одну технологическую нитку УКПГ, до требований стандарта организации.

В разделе финансового менеджмента оценены ключевые показатели эффективности предложенной схемы модернизации до 2030 года. Увеличение NPV составило 1,05 млрд. рублей. Прибыль от модернизации поступает в первый год.

Отдельный раздел посвящен мерам производственной и экологической безопасности. Определены потенциально вредные и опасные производственные факторы и меры по снижению их воздействия на человека и мероприятия по их устранению.

Список публикаций обучающегося

1. Трухачев, М.С. Оценка технологической эффективности применения силикагеля и цеолита при адсорбционной осушке газа на месторождении Медвежье / М.С. Трухачев; науч. рук. Л.В. Шишмина // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», посвященного 160-летию со дня рождения академика В. А. Обручева и 140-летию академика М.А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы: в печати.

Список использованных источников

1. Газпром добыча Надым : официальный сайт. – Надым. – URL: <https://proektirovanie.gazprom.ru/press/ehntsiklopediya-proektirovshchika/krupnejshie-proekty/medvezhe-neftegazokondensatnoe/> (дата обращения: 23.05.2023). – Текст : электронный.
2. Ахмедсафин, С.К. Новая жизнь медвежьего. 50 лет с начала разработки первого газового гиганта Западной Сибири / С. К. Ахмедсафин, В.В. Рыбальченко // Газовая промышленность. – 2022. – №2 (883). - С. 58–68.
3. Пономарев, А.И. О возможности оценки масштабов обводнения фонда добывающих скважин на газовых месторождениях в слоисто-неоднородных пластах / А.И. Пономарев, А.И. Шаяхметов // Нефтегазовое дело. – 2012. – №6. – С. 218-225.
4. Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники : учебное пособие / Н.В. Кельцев – 2-е изд. – М.: Химия, 1974. – 592 с. – ISBN В пер. (В пер.) : 2 р. 60 к.
5. SORBIUS GROUP : официальный сайт. – Москва. – <https://sorbis-group.com/articles/osushka-prirodnikh-gazov.html> (дата обращения: 23.05.2023). – Текст : электронный.
6. Липин, А.Г. Расчет адсорбционных установок : учебное пособие для курсового проектирования / А.Г. Липин, А.А. Липин. – Иваново : Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2014. – 60 с.
7. Мельников, В.Б. Промысловый сбор и переработка газа и газового конденсата: учебник / В.Б. Мельников. – М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2017. – 464 с. – ISBN 978-5-317-03240-1.
8. Технология переработки природного газа и конденсата: Справочник / А. И. Афанасьев [и др.] ; Редкол. В. И. Мурин и др. – М. : Недра, 2002 – 517 с. – ISBN 5-8365-0107-6.

9. ГОСТ 3956-76. Силикагель технический. Технические условия: дата введения 1977-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200019017> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.
10. Dubinin, M.M. The sorption of water vapour by active carbon / M.M. Dubinin, E.D. Zaverina, V.V. Serpinsky // Journal of Chemistry Society. – 1955. – С. 1760-1766.
11. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: учебник для вузов / А.И. Скобло, Ю.К. Молоканов, А.И. Владимиров [и др.] – М. : ООО Недр-Бизнесцентр, 2000. – 677 с. – ISBN 5-8365-0035-5.
12. СТО Газпром 089-2010. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия: дата введения 2010-10-25. – URL: <https://ugs.gazprom.ru/d/story/1b/283/sto-gazprom-089-2010.pdf> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.
13. Сеноманские залежи // Деловой журнал «Neftegaz.RU» – 2011. – [Электронный ресурс], URL: <https://neftgaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/142048-senomanskie-zalezhi/> (дата обращения: 13.04.2023). – Текст: электронный.
14. Тер-Саркисов, Р. М. Разработка месторождений природных газов / Р. М. Тер-Саркисов. – М. : Недра, 1999. – 658 с. – ISBN 5-247-03833-9.
15. Технологические расчеты установок переработки нефти : Учебное пособие для вузов / Танатаров М.А. [и др.] – М.: Химия, 1987. – 352 с.
16. Гвоздев, Б. П. Осушка природного газа твердыми сорбентами / Б.П. Гвоздев. – М.: ВНИИЭгазпром, 1975. – 51 с.
17. Гриценко, А.И. Физические методы переработки и использование газа : Учебное пособие / А.И. Гриценко, И.А. Александров, И.А. Галанин. – М.: Недра, 1981. – 224 с.
18. Технологический регламент работы УКПГ - 1 месторождения “Медвежье”, 2015 г.

19. Мин-во экономического развития РФ : официальный сайт. – Москва. URL: <http://static.government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf> (дата обращения: 23.05.2023). – Текст: электронный.

20. Мин-во экономического развития РФ : официальный сайт. – Москва. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/d7f5f5dea44bda4c30d42aac04cc1fca/prognoz_socialno_ekonom_razvitiya_rf_2022-2024.pdf (дата обращения: 23.05.2023). – Текст: электронный.

21. Центральный банк РФ : официальный сайт. – Москва. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=430684> (дата обращения: 23.05.2023). – Текст: электронный.

22. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : Федеральный Закон №116-ФЗ : [принят Государственной думой 21 июля 1997 года]. - Москва, 2017. – 58 с. – ISBN 978-5-9909379-5-6.

23. ПБ 08-624-03. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности: дата введения 2003-06-30. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/40/40016/index.htm> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст : электронный.

24. «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности" (вместе с "Правилами организации и осуществления производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности") - утверждены Постановлением № 2168 Правительства РФ от 18.12.2020 г.

25. Правила устройства электроустановок. Издание 7 : официальное издание : утверждены Министерством энергетики Российской Федерации от 8.06.2002 : введены в действие 01.01.2003. – Москва : ОАО «ВНИИЭ», 2003. – 462 с.

26. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование,

работающее под избыточным давлением", утвержденные Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору приказ от 25.03.2014 г. №116.

27. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023)

28. ГОСТ Р ИСО 14738–2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин : дата введения 2008-06-01. – URL: <http://www.g-ost.ru/44132.html> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст : электронный.

29. ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования : дата введения 1979-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005187> (дата обращения: 15.04.2023). – Текст : электронный.

30. ГОСТ 21753–76. Система «человек-машина». Рычаги управления. Общие эргономические требования. : дата введения 1977-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012829> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст : электронный.

31. ГОСТ Р ИСО 6385–2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем. : дата введения 2017-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140609> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст : электронный.

32. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности: дата введения 2015-11-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения 16.04.2023). – Текст : электронный.

33. ГОСТ 12.1.003-1983. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности: дата введения 1984-11-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения 16.04.2023). – Текст : электронный.

34. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*: дата введения 2017-05-08. – URL – <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст : электронный.

35. ГОСТ 12.4.296-2015. ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания : дата введения 2016-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200121958> (дата обращения 18.04.2023). – Текст : электронный.

36. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности : дата введения 1977-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата обращения 20.04.2023). – Текст : электронный.

37. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление : дата введения 1982-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200289> (дата обращения 24.04.2023). – Текст : электронный.

38. Газпром добыча Надым : официальный сайт. – Надым. – URL: <https://nadymdobycha.gazprom.ru/rezultaty-spetsialnoj-otsenki/> (дата обращения: 14.04.2023).

39. ГОСТ 12.4.087-84 ССБТ. Строительство. Каски строительные. Технические условия : дата введения 1985-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9052223> (дата обращения 20.04.2023). – Текст : электронный.

40. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды : Федеральный Закон №7-ФЗ : [принят Государственной думой 10 января 2002 года]. - Москва, 2011. – 62 с. – ISBN 978-5-406-01448-6.

41. Российская Федерация. Законы. Об охране атмосферного воздуха : Федеральный Закон №96-ФЗ : [принят Государственной думой 4 мая 1999 года]. - Москва, 2009. – 62 с. – ISBN 978-5-370-00891-7.

42. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления : Федеральный Закон №89-ФЗ : [принят Государственной думой 24 июня 1998 года]. – Санкт-Петербург, 2009. – 89 с. – ISBN 5-8049-0025-0.

43. СП 12.13130.2009. Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : дата введения 2009-05-01. – URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/svody-pravil/svody-pravil-mchs-rossii/6674> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст : электронный.

44. ГОСТ Р 51330.19-99 Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 20. Данные по горючим газам и парам, относящиеся к эксплуатации электрооборудования : дата введения 2001-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008236> (дата обращения 24.04.2023). – Текст : электронный.

45. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : Федеральный закон № 116-ФЗ : [принят Государственной думой 21 июля 1997 года]. – Москва, 1997. – 162 с. – ISBN 978-5-9687-0053-7.