

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело  
Отделение школы Отделение нефтегазового дела

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>АНАЛИЗ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕМ НА ЗАПОЛЯРНОМ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ЯНАО)</b>

УДК 622.276.72(571.122)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2БЗГ	Коркучекова Евгения Эдуардовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Пулькина Наталья Эдуардовна			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Макашева Юлия Сергеевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Абраменко Никита Сергеевич			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Максимова Юлия Анатольевна			

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки (специальность) 21.03.01 Нефтегазовое дело  
Отделение школы Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы  
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Б3Г	Коркучева Евгения Эдуардовна

Тема работы:

<b>АНАЛИЗ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕМ НА ЗАПОЛЯРНОМ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ЯНАО)</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.02.2018г. №1218с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Пакет технической, технологической и нормативной информации по методам предотвращения гидратообразования, тексты и графические материалы отчетов и исследовательских работ, фондовая и научная литература.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Общие сведения об осложнениях в следствие гидратообразования в системах промышленного сбора газа, методы ликвидации гидратных пробок, экономическая эффективность от закачки метанола, социальная ответственность при работе с химическими реагентами.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Ассистент, Макашева Юлия Сергеевна
«Социальная ответственность»	Ассистент Абраменко Никита Сергеевич
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Общие сведения о гидратах и гидратообразовании	
Геолого-физическая характеристика Заполярного НГКМ	
Методы борьбы с техногенным гидратообразованием в газопромисловых системах	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	07.02.2018г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Пулькина Наталья Эдуардовна			07.02.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Б3Г	Коркучекова Евгения Эдуардовна		07.02.2018г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2Б3Г	Коркучева Евгения Эдуардовна

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа природных ресурсов</b>	<b>Отделение школы (ОНД)</b>	<b>Отделение нефтегазового дела</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Нефтегазовое дело

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Технические данные по расходу метанола</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Стоимость обслуживания блока подачи метанола</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Амортизация, энергоресурсы, заработная плата</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведены расчеты эффективности проведения ингибиторных обработок на месторождении</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Отчисления бюджета проводятся на научные исследования</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Выявлено, что эффективность проведения обработок зависит от ингибитора гидратообразования и от его количества</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	07.02.2018г.
---	--------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Макашева Юлия Сергеевна			07.02.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2Б3Г	Коркучева Евгения Эдуардовна		07.02.2018г.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 3-2БЗГ	ФИО Коркучева Евгения Эдуардовна
------------------	-------------------------------------

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Нефтегазовое дело

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Рабочее место расположено на открытом воздухе. Система сбора и установка комплексной подготовки газа на газовом промысле Заполярного НГКМ, ЯНАО.</p>
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Повышенный уровень шума на рабочем месте</li> <li>-Повышенный уровень вибрации</li> <li>-Отклонение показателей микроклимата в помещении и на открытом воздухе</li> <li>-Вредные вещества</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Электробезопасность</li> <li>-Пожарная безопасность</li> <li>-Высокое давление</li> </ul>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>	<p>-Объект рассмотрен как источник выброса загрязняющих веществ;</p>

– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	-Рассмотрены мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	-Рассмотрены типичные ЧС, причины их возникновения и превентивные меры.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	-Рассмотрены основные особенности правового регулирования труда лиц, работающих в условиях Крайнего севера
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	07.02.2018г.
---	--------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Абраменко Никита Сергеевич			07.02.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2БЗГ	Коркучева Евгения Эдуардовна		07.02.2018г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 82 стр., 14 рис., 8 табл., 30 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ, ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕ, СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ГИДРАТАМИ, ИНГИБИТОРЫ, МЕТАНОЛ, КИНЕТИЧЕСКИЙ ИНГИБИТОР, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНГИБИТОР.

Объектом исследования являются газопромысловые и газотранспортные системы Заполярного НГКМ.

Цель работы – анализ существующих методов борьбы и предупреждения гидратообразования, их преимуществ и недостатков, выбор наиболее оптимального в условиях Заполярного НГКМ.

В процессе исследования проводились: анализ методов по борьбе с гидратами, расчет минимально необходимого количества ингибиторов гидратообразования, проведено экономическое обоснование выбора ингибитора.

В результате исследования: проанализированы основные методы борьбы с гидратообразованием в газопромысловых и газотранспортных системах.

Степень внедрения: эффективность применения метанола в качестве ингибитора гидратообразования на Заполярном месторождении подтверждается расчетом минимально необходимого количества ингибитора и расчетом экономических затрат на закачку ингибитора (в сравнении взят метанол и хлорид кальция).

Область применения: газопромысловые и газотранспортные системы.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в обосновании применения метанола в качестве ингибитора гидратообразования.

В будущем планируется разработка, испытание в лабораторных и промышленных условиях кинетических ингибиторов, которые экологически безопасны и безвредны для человека.

## **ОБОЗНАЧЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ**

УКПГ – установка комплексной подготовки газа

НГКМ –нефтегазоконденсатное месторождение

СТО – станция технического обслуживания

ПАВ – поверхностно-активное вещество

ЭГ – этиленгликоль

ДЭГ – диэтиленгликоль

ТЭГ - триэтиленгликоль

ЗПА – здание переключающей арматуры

ГП – газовый промысел

ПДК – предельно допустимая концентрация

ГОСТ – государственный стандарт

ОСТ – отраслевой стандарт



## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Общие сведения о гидратах и гидратообразовании .....</b>	<b>12</b>
1.1. Гидраты в природном газе .....	12
1.2. Типы гидратов и гидратообразующие вещества .....	14
1.3. Основные методы борьбы с гидратами .....	18
1.4. Рынок метанола и потребление метанола в России .....	27
1.5. Промысловые испытания экологически безопасного малорасходного ингибитора образования газовых гидратов кинетического действия (на примере одного из месторождений Вуктыльского геолого-экономического района). .....	29
<b>2. Геолого-физическая характеристика Заполярного НГКМ .....</b>	<b>34</b>
2.1. Общие сведения о месторождении .....	34
2.2. Литолого-стратиграфическое строение Заполярного НГКМ .....	36
<b>3. Методы борьбы с техногенным гидратообразованием в газопромысловых системах .....</b>	<b>42</b>
3.1. Освоение Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения .....	42
3.2. Фонд скважин УКПГ-2С Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения .....	43
3.3. Предупреждение гидратообразования в системах промышленного сбора газа Заполярного НГКМ .....	45
3.4. Определение минимально необходимого количества ингибиторов гидратообразования .....	50
<b>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. ....</b>	<b>57</b>
4.1. Расчет экономических затрат на закачку метанола .....	58

4.2.	Расчет экономических затрат на закачку хлорида кальция .....	59
4.3.	Сравнение экономических затрат на применение ингибиторов.....	59
<b>5.</b>	<b>Социальная ответственность .....</b>	<b>61</b>
5.1.	Производственная безопасность .....	61
5.1.1.	Анализ выявленных вредных факторов .....	62
5.1.2.	Анализ выявленных опасных факторов .....	69
5.2.	Экологическая безопасность .....	72
5.2.1.	Анализ воздействия на литосферу .....	73
5.2.2.	Анализ воздействия на гидросферу .....	73
5.2.3.	Анализ воздействия на атмосферу.....	74
5.2.4.	Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	74
5.3.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..	75
<b>Заключение.....</b>		<b>78</b>
<b>Список используемых источников.....</b>		<b>80</b>
<b>Приложение А.....</b>		<b>83</b>

## **Введение**

Заполярное нефтегазоконденсатное месторождение (далее ЗНГКМ) было открыто в 1965 году. Расположено в южной части Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа, в 220 км от г. Новый Уренгой. Общие запасы месторождения составляют (категории C1+C2) более 3,5 трлн м<sup>3</sup> газа, около 80 млн тонн газового конденсата и нефти (извлекаемые). [2]

Основными факторами, осложняющими разработку ЗНГКМ, являются суровые климатические условия (район крайнего севера). Такие условия среды в совокупности с высоким давлением в трубопроводе и наличием в потоке газа воды становятся благоприятными для образования гидратов природного газа.

Как показывает практика, процессу образования природных газовых гидратов подвергаются: скважины, призабойная зона пласта-коллектора, ствол скважины, внутринефтепромысловые коллекторы и шлейфы, магистральные трубопроводы. Газовые гидраты вызывают осложнения и проблемы в технологических процессах систем сбора и подготовки природного газа.

Образование гидратов является одной из проблем, связанных с процессами добычи, переработки и транспортировки природного газа и его производных жидкостей.

Целью данной бакалаврской работы является анализ существующих методов борьбы и предупреждения гидратообразования, их преимуществ и недостатков, выбор наиболее оптимального в условиях ЗНГКМ.

## **1. Общие сведения о гидратах и гидратообразовании**

### **1.1. Гидраты в природном газе**

Гидраты – это твердые кристаллические соединения, образующиеся при определенных термобарических условиях из воды и низкомолекулярных газов. Они входят в более крупный класс химических соединений, известных под названием «клатратов» или «соединений включения». Клатратами называют соединения, в которых молекулы одного вещества заключены внутри структур, образованных молекулами другого вещества. [1, с.3]

Образование гидратов является одной из проблем, связанных с процессами добычи, переработки и дальнейшей транспортировки природного газа.

Вода часто сопутствует природному газу. В газоносных пластах всегда присутствует вода, поэтому добываемый газ всегда насыщен водой. Вода часто используется в процессах подготовки газа, например, в процессе очистки газа от сероводорода двуокиси углерода, так называемых кислых газов. Наиболее широко применяется метод очистки газов водными растворами алканоломинов. После такой обработки получают очищенный газ, насыщенный водой. Вследствие таких взаимодействий воды и природного газа гидраты могут встречаться на всех этапах добычи и подготовки природного газа. [1, с.3]

Способность воды образовывать гидраты объясняется наличием в ней водородных связей. Водородная связь заставляет молекулы воды выстраиваться в геометрически правильные структуры. В присутствии молекул некоторых веществ эта упорядоченная структура стабилизируется и образуется смесь, выделяемая в виде твердого осадка. Молекулы воды в таких соединениях называются «хозяевами», а молекулы других веществ, стабилизирующие кристаллическую решетку – «гостями». Молекулы-гости называются «гидратообразующие вещества» или «гидратообразователи». Кристаллические

решетки гидратов имеют сложное, трехмерное строение, где молекулы воды образуют каркас, в полостях которого находятся заключенные молекулы гости.

Особенность газовых гидратов: молекулы-гости не связаны с водным каркасом и могут спокойно вращаться внутри этой структуры. Данные соединения можно описать как твердые растворы. [1, с.5-7]

Для образования гидратов необходимы следующие условия:

1. Благоприятные термобарические условия (высокое давление и низкая температура).

2. Наличие гидратообразующего вещества (метан, этан, двуокись углерода).

3. Достаточное количество воды (не слишком много и не слишком мало).

Кроме вышеперечисленных условий для образования гидратов существует ряд явлений, благоприятствующих образованию гидратов: [1, с.8]

1. Турбулентность.

- Высокие скорости потока. Образование гидратов активно протекает на участке с высокими скоростями потока среды, это делает дроссельную арматуру особенно чувствительной к образованию гидратов. Во-первых, температура природного газа при прохождении через дроссель значительно понижается за счет эффекта Джоуля-Томсона. Во-вторых, в уменьшенном проходном сечении клапана возникает большая скорость потока.

- Перемешивание. При перемешивании газа в трубопроводе, технологическом резервуаре, теплообменнике и т.п. интенсивность гидратообразования возрастает.

2. Центры кристаллизации. Это точка, в которой существуют благоприятные условия для фазового превращения (образование твердой фазы из жидкой). Центрами кристаллизации могут быть – дефекты трубопроводов, сварные швы, фасонные детали и арматура трубопроводов. Включения шлама, окалины, грязи и песка также могут послужить хорошими центрами кристаллизации.

3. Свободная вода. Наличие свободной воды не является обязательным условием гидратообразования, но интенсивность гидратообразования возрастает. Кроме того, поверхность раздела вода – газ является удобным центром кристаллизации для образования гидратов.

Перечисленные выше явления способствуют усилению гидратообразования, но не являются обязательными условиями.

Еще одним важным аспектом гидратообразования является процесс накопления твердого вещества. Скопление гидрата необязательно в месте его образования. Гидраты могут перемещаться по трубопроводам вместе с потоком среды. Скопление гидратов приводит к образованию пробок, которые могут приводить к выходу из строя технологического оборудования. [1, с.10]

## **1.2. Типы гидратов и гидратообразующие вещества**

Гидраты классифицируют по типам в зависимости от расположения молекул воды в кристаллической решетке и строения решетки. В нефтегазовой промышленности встречаются два типа гидратов: I и II типа. Также существует третий тип гидратов – тип H (структура H), данный тип встречается намного реже. [3, с.17]

### **Гидраты I типа**

Гидраты I типа имеют самую простую форму (рис. 1). Они образованы ячейками с полостями двух типов:

1. в форме додекаэдра – двенадцатигранник, каждая грань которого имеет форму правильного пятиугольника;
2. в форме тетракайдекаэдра – четырнадцатигранник, состоящий из двенадцати пентагональных и двух гексагональных граней.

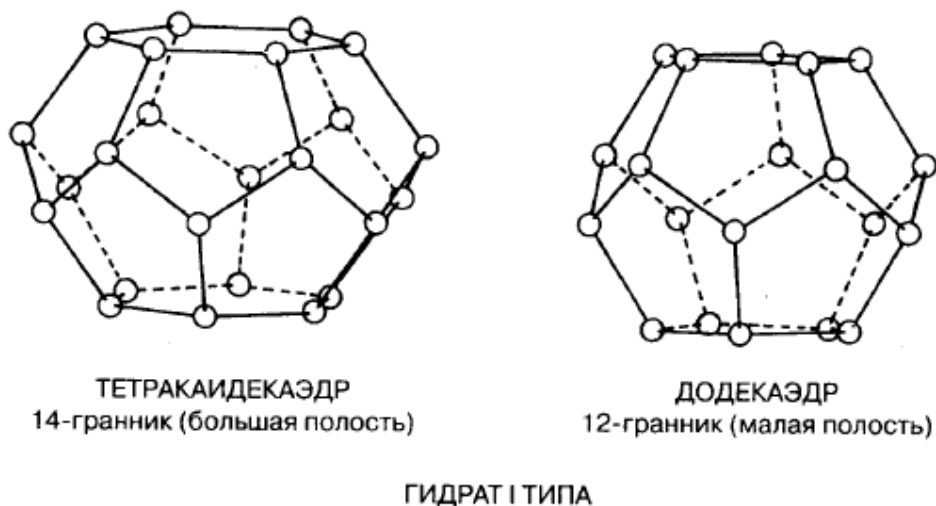


Рисунок 1 – полиэдрические ячейки решетки гидратов I типа

Вещества, образующие гидраты I типа – метан, этан, двуокись углерода, сероводород. В гидратах  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  молекулы-гости могут занимать как малые, так и большие полости. Молекулы этана, в отличие от них, занимают только большие полости. [3, с.17-19]

### **Гидраты II типа**

Структура гидратов II типа намного сложнее структуры гидратов I типа (рис. 2). В гидратах II типа решетка образована двумя видами ячеек:

1. додекаэдр – двенадцатигранник, каждая грань которого имеет форму равностороннего пятиугольника;
2. гексакаидекаэдра – шеснадцатигранник, имеющий двенадцать пентагональных граней и четыре гексагональные грани.

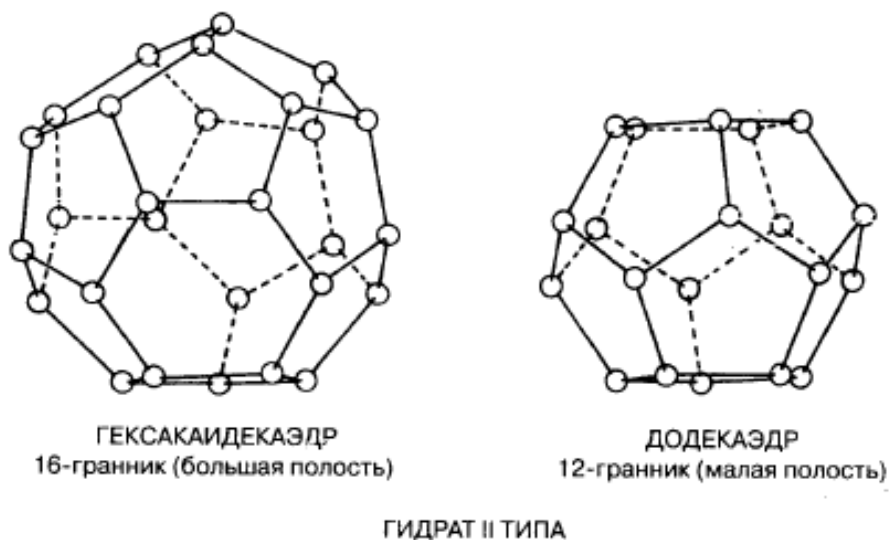


Рисунок 2 – полиэдрические ячейки решетки гидратов II типа

К веществам, образующим гидраты II типа относятся азот, пропан, изобутан. Молекулы азота в гидратах II тип могут занимать как большие, так и малые полости. Молекулы пропана, изобутана занимают только большие полости. [3, с.19-22]

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики гидратов I и II типов.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики гидратов I и II типов [3, с.18]

	Тип I	Тип II
Количество молекул воды в одной ячейке решетки	46	136
Количество полостей в одной ячейке решетки:		
малых	2	16
больших	6	8
Теоретическая формула ячейки:		
при заполнении всех полостей	$X \times 53/4H_2O$	$X \times 52/3H_2O$
молярная доля гидратообразующего вещества	0,1481	0,01500



при заполнении только больших полостей	$X \times 72/3\text{H}_2\text{O}$	$X \times 17 \text{H}_2\text{O}$
молярная доля гидратообразующего вещества	0,1154	0,0556
Диаметр полости, Å		
малой	7,9	7,8
большой	8,6	9,5
Объем одной ячейки каркаса, м <sup>3</sup>	$1,728 \times 1027$	$5,178 \times 1027$
Примеры гидратообразующих веществ	$\text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_6, \text{C}_2\text{S}, \text{CO}_2$	$\text{C}_3\text{H}_8, \text{изо-C}_4\text{H}_{10}, \text{N}_2$

### Гидраты типа Н

Гидраты типа Н встречаются намного реже, чем гидраты I и II типов. Для формирования гидратов этого типа требуются молекулы маленького размера (молекулы метана, гидратообразователь типа Н).

В гидратах типа Н решетка образована тремя видами ячеек:

1. додекаэдрическая – двенадцатигранник, в котором каждая из граней имеет форму правильного пятиугольника;
2. неправильная додекаэдрическая форма – с тремя квадратными гранями, шестью пентагональными гранями и тремя гексагональными гранями;
3. неправильной икосаэдрической формы – двенадцатигранник с двенадцатью пентагональными гранями и восемью гексагональными гранями.

Если для образования гидратов I и II типов достаточно только одного гидратообразующего вещества, то для типа Н необходимо присутствие двух таких веществ:

1. с молекулами малого размера, такого как метан;
2. с более крупными молекулами-гидратообразователями типа Н.

К гидратообразователям типа Н относятся следующие виды углеводородных соединений: 2-метилбутан, 2,2-диметилбутан, 2,2,3-

триметилбутан, 2,2-диметилпентан, 3,3-диметилпентан, метилциклопентан, этилциклопентан, метилциклогексан, циклогептан и циклооктан. [3, с.24-25]

### 1.3. Основные методы борьбы с гидратами

Термин «борьба с гидратами» используется в отечественной литературе достаточно часто и представляется наиболее общим, поскольку включает в себя как предупреждение процесса гидратообразования (или гидратоотложения), так и технологические операции по ликвидации (т.е. разложению, удалению и пр.) газогидратов, образовавшихся в виде отложений, сплошных и не сплошных пробок в промысловых коммуникациях. [4, с.116]

Для борьбы с гидратами разработан ряд методов:

- Химические
  - ✓ Ингибиторы гидратообразования
    - Термодинамические;
    - Кинетические;
  - ✓ Ингибиторы гидратоотложения
    - Многофазный транспорт продукции газоконденсатных и газонефтяных скважин в режиме гидратообразования.
- Технологические
  - ✓ Поддержание безгидратных режимов.
- Физические (безингибиторные)
  - ✓ Тепловые;
  - ✓ Физические поля (акустические, СВЧ);
  - ✓ Механические.

Под ингибиторами гидратообразования понимают вещества, которые либо изменяют термобарические условия образования гидратов (это ингибиторы в термодинамическом смысле или термодинамические ингибиторы), либо каким-то образом влияют на скорость образования гидратов в газожидкостном

потоке (это ингибиторы в прямом смысле этого термина, или кинетические ингибиторы). [4, с.119]

**Термодинамические ингибиторы.** Механизм действия термодинамических ингибиторов гидратообразования заключается в снижении термодинамической активности воды в водном растворе и тем самым, в изменении равновесных условий образования гидратов.

В России в промышленных условиях используются три группы термодинамических ингибиторов:

- водные растворы электролитов

LiCl, AlCl<sub>3</sub>, MgCl<sub>2</sub>, NaCl, CaCl<sub>2</sub>, KCl. Водный раствор 25-35 % хлорида кальция применялся как ингибитор гидратообразования на заре развития газовой промышленности. В настоящее время этот состав иногда используется для ингибирования разведочных скважин, а также шлейфов газоконденсатных месторождений.

Достоинства – высокая антигидратная активность, дешевизна технических сортов, достаточная простота приготовления раствора, не токсичность.

Недостатки – очень высокая коррозионная активность, возможность выпадения осадка при смешивании с пластовой минерализованной водой, необходимость специального узла подготовки рабочего раствора.

Растворы электролитов вполне могут использоваться на небольших месторождениях, преимущественно в районах средней и южной полосы России и в странах СНГ. В связи с разработкой комплексных программ освоения малых газовых месторождений России в ряде случаев целесообразно применение в качестве антигидратных реагентов, именно растворов электролитов. [4, с.123-128]

- антигидратные реагенты на базе гликолей

Этиленгликоль, диэтиленгликоль, полигликоль, триэтиленгликоль.

Достоинства – малая растворимость в газовой фазе; разработаны в деталях системы регенерации отработанного раствора.

Недостатки – высокая цена, определенные технологические затруднения при разделении эмульсии ДЭГ с нестабильным конденсатом, довольно высокая вязкость и сравнительно высокая температура кристаллизации.

Этиленгликоль наиболее целесообразно использовать в технологических схемах, промежуточных между низкотемпературной сепарации и абсорбционной осушкой, в технологиях, где имеет место абсорбционная осушка газа при температурах контакта на уровне 0°C, т.е. речь идет об использовании этиленгликоля как ингибитора гидратов на стадии предварительного охлаждения и осушки газа и далее – как абсорбента-осушителя собственно на стадии гликолевой осушки газа. Такие технологии представляют интерес для новых газовых месторождений, находящихся на стадии подготовке к разработке (Находкинское, Бованенковское). [4, с.128-137]

- метанол и некоторые составы на его основе

Метанол и антигидратные составы на основе низших алифатических спиртов используются как для предупреждения гидратообразования, так и для ликвидации возникающих по каким-либо причинам гидратных отложений (не сплошных гидратных пробок).

Достоинства – относительно низкая стоимость, высокая технологичность процесса ввода и распределения метанола в требуемые участки технологической цепочки, наивысшая антигидратная активность, очень низкая температура замерзания, смешиваемость со слабоминерализованной пластовой водой без выпадения твердого осадка, сравнительно низкая растворимость метанола в нестабильном конденсате при контакте нестабильного газоконденсата с отработанным водным раствором метанола, некоррозионность метанола и его водных растворов, возможность использования технических сортов метанола, достаточно простые схемы регенерации отработанных растворов.

Недостатки – очень высокая токсичность, высокая пожароопасность, возможность выпадения солей при смешивании с сильноминерализованной пластовой водой и как следствие солеотложения в промысловых коммуникациях, эффект ускоренного роста кристаллогидратов в присутствии

разбавленных водных растворов метанола с недостаточной концентрацией для предупреждения гидратов, высокая упругость паров, очень высокая растворимость в сжатом природном газе.

На действующих месторождениях Крайнего Севера России в настоящее время используется в качестве ингибитора гидратообразования только метанол. Метанол также рекомендуется как ингибитор и на вновь проектируемых месторождениях Надым-Пур-Тазовского газоносного региона и группы уникальных месторождений п-ва Ямал. Метанол используется на Оренбургском, Карачаганакском и Астраханском газоконденсатных месторождениях, в составе продукции которых присутствует сероводород и диоксид углерода, а также на большинстве подземных хранилищ газа, газораспределительных станций и шельфовых ГКМ. [4, с.137-150]

**Кинетические ингибиторы** – это реагенты при концентрациях в водной фазе примерно 0,25-0,5 %, предупреждающие образование гидратов от нескольких часов до суток и более при «вторжении» в гидратную область фазовой диаграммы на 7-8°C, что оказывается достаточным для успешного ингибирования промышленных систем сбора газа, поскольку время в пути сырого газа по внутрипромысловым трубопроводам обычно не превышает 10-20 мин.

К кинетическим ингибиторам относятся водорастворимые полимерные соединения: поливинилпирролидон PVP, поливинилкапролактан PVCap, VC-713 (рис. 3). Важно отметить, что целесообразно использовать водорастворимые полимеры с низкой молекулярной массой (~500-1000), а не традиционные водорастворимые полимеры молекулярной массы 10 000 – 20 000. Это связано с предполагаемым механизмом антигидратного действия полимерных молекул: полимерная молекула как бы обволакивает микрочастицу гидрата, предотвращая его дальнейший рост. Эффективность в подавлении гидратообразования того или иного полимера зависит от специфического взаимодействия поверхности газового гидрата с полимерной молекулой.

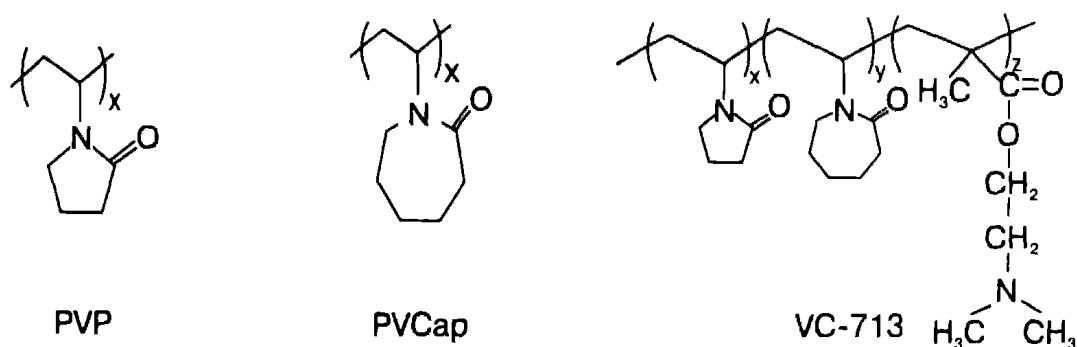


Рисунок 3 – Структура некоторых кинетических ингибиторов гидратообразования из класса водорастворимых полимеров [4, с.153]

Потенциальные преимущества использования кинетических ингибиторов гидратообразования (типа VC-713), на которые рассчитывают разработчики этих реагентов: сокращение как минимум в несколько раз эксплуатационных затрат на предупреждение гидратов (по сравнению с метанолом), существенно более высокий уровень экологичности новой технологии (реагенты типа PVP безвредны для окружающей среды и человека), отсутствие необходимости регенерации отработанных растворов (они могут закачиваться в поглощающие горизонты или даже выбрасываться в морскую воду без штрафных санкций со стороны природоохранных организаций), принципиальная возможность без серьезных затрат переоборудовать существующие системы распределения и ввода метанола для применения кинетических ингибиторов, существенное сокращение затрат на транспорт и хранение ингибиторов (из-за резкого уменьшения удельного расхода антигидратных реагентов).

В настоящее время с практической точки зрения использование кинетических ингибиторов в отечественных условиях для предупреждения гидратообразования ограничено следующими моментами: требования по прокачке водного раствора ингибитора накладывают ограничения на вязкость раствора, и поэтому концентрация кинетического ингибитора в водном растворе обычно не должна превышать 2%, что приводит к вводу в газопромысловую систему дополнительной воды, по объему сопоставимой с количеством

конденсационной воды; температура замерзания раствора ингибитора близка к 0°C, это обстоятельство ограничивает применение подобных составов в районах крайнего севера; возникает вопрос о совместимости новых ингибиторов с «естественными примесями» природного газа – с пластовой минерализованной водой и нестабильным конденсатом (т.к. нежелательна возможность образования пенных систем); должен быть обязательно обеспечен режим работы трубопровода с постоянным выносом жидкой фазы; недостаточная надежность самого подхода к ингибированию кинетическими ингибиторами, следовательно необходимость разработки автоматики процесса ингибирования повышенной чувствительности; применению кинетических ингибиторов способствует стабильные термобарический режим работы газопромысловой системы, поэтому при переходных процессах требуется использование традиционного ингибитора, таким образом ингибиторная подсистема во всех случаях обязана быть двухреагентной.

Кинетические ингибиторы вполне могут подойти для ингибирования стволов газовых скважин при их кратковременных газодинамических исследованиях, обычно сопровождающихся заходом в гидратоопасную область термодинамических параметров на время порядка нескольких часов, причем «глубина» захода в область стабильности газовых гидратов не превышает 7-8°C. Так же кинетические ингибиторы могут найти применение в нефтегазовой отрасли в водогазовом воздействии на нефтяную залежь, когда возможно образование гидратов в нагнетательных скважинах (на нефтяных месторождениях в северных регионах).

Новые классы кинетических ингибиторов гидратообразования представляют промышленный интерес, но требуют дальнейшего изучения и детальной проработки возможностей их практического применения. [4, с.151-160]

**Ингибиторы гидратоотложения** – вещества, изменяющие консистенцию гидратной массы (т.е. делающие ее текучей, например, за счет диспергирования газовых гидратов в газожидкостном потоке) и/или меняющие

условия адгезии гидратов к внутренним поверхностям промышленных коммуникаций.

Наиболее простая «идея» состоит в том, чтобы попытаться как-то «заблокировать» водную фазу в газожидкостном потоке и тем самым резко уменьшить рост газогидратных частиц хотя бы на сравнительно короткое время – порядка десятков минут.

Технология предупреждения гидратоотложения в системах промышленного сбора с использованием растворимых в жидких углеводах ПАВ, несмотря на более чем тридцатилетнюю историю, пока что не доведена до реального практического применения. Имеющиеся предложения по ингибиторам-диспергаторам весьма перспективны, однако существенных технических деталей по реализации таких технологий в литературе не приводится и, следовательно, для оценки реальных возможностей их внедрения в промышленную практику требуются дополнительные исследования. [4, с.160-166]

**Поддержание безгидратных режимов** – это подбор соответствующих рабочих дебитов скважины, обеспечивающих температуру на устье, выше равновесной температуры гидратообразования. Повысить температуру на устье скважины можно частичным дросселированием газа на забое скважины использованием теплоизолированных обсадных или лифтовых труб, применением активных тепловых методов (забойных нагревателей, греющего кабеля, подогрева газа для газлифтных скважин). Для технологии обоснованного использования методов поддержания безгидратного режима необходим детальный анализ тепловых процессов в скважинах.

Также для поддержания безгидратных режимов работы систем сбора и транспортировки газа используются пассивные методы – теплоизоляция (пенополиуритан/ППУ), определенные конструктивные решения, подбор соответствующих расходов флюида.



Такое техническое решение оказывается согласованным с требованиями условий разработки сеноманских залежей крупнейших месторождений – Уренгойского, Ямбургского, Медвежьего. [4, с.352]

**Тепловые методы борьбы с гидратами** – это воздействие теплоисточника на гидратную пробку (паром, горячей водой, термодинамическим ингибитором, использование теплоты какой-либо химической реакции, прогрев ТЭН или протяженным греющим кабелем, прогрев колонны НКТ при работе скважины через затрубное пространство, подача теплоносителя в затрубное пространство, электрообогрев, термогазлифт).

Простой метод с подачей 15 %-го раствора соляной кислоты и магния интересен тем, что при химической реакции не только выделяется теплота, но и образуется раствор хлорида магния – эффективного ингибитора гидратообразования. Более сложный вариант состоит в изготовлении специального химического «снаряда» – металлической цилиндрической капсулы из чистого магния, снабженной «окном» из кальция (водорастворимого материала) и содержащей внутри вещество, реагирующее с водой с выделением теплоты, например, пятиокись фосфора. [4, с.336]

**Акустическое воздействие** (ультразвуковой излучатель) приводит к интенсивному разложению гидратного слоя, причем значительно более эффективным оказалось оптимальное сочетание акустического воздействия с тепловым (достигается ускорение разложения).

**Механические методы борьбы с гидратами** – проталкивание пробки в нижнюю часть НКТ, гидроперфорация.

При выборе конкретного ингибитора гидратов необходимо учитывать следующие основные моменты: [4, с.121]

- геологические, физико-географические и климатические условия того или иного месторождения;
- технологические особенности ингибитора, предполагаемого к применению с учетом функционального сбора, промысловой и заводской

обработки газа на рассматриваемом месторождении, возможности применения современных технологий рециркуляции ингибиторов;

- коррозионную активность основного реагента, входящего в состав ингибитора гидратов;

- совместимость ингибитора с пластовой минерализованной водой и с другими реагентами при разработке составов многоцелевого назначения, например, при разработке комплексных ингибиторов коррозии, парафиноотложения и гидратообразования, либо составов для выноса пластовой воды из скважин и шлейфов, одновременно обеспечивающих предупреждение гидратообразования;

- возможность организации собственного производства ингибитора вблизи месторождения с использованием компонентов природного газа в качестве сырья, например, производство метанольного продукта методом неполного окисления кислорода воздуха;

- ожидаемый (планируемый или расчетный) и фактический удельный расход ингибитора на промысле и соответствующие технико-экономические показатели с учетом дополнительных затрат на хранение реагентов, создание резервных запасов и утилизацию промстоков;

- особенности приготовления ингибитора нужного состава и его распределение по точкам ввода и те трудности, которые возникают при автоматизации и регулировании процесса ингибирования;

- класс токсичности и соблюдение мер безопасности, необходимых при применении реагента;

- возможность и целесообразность регенерации отработанных растворов ингибиторов и выбор оптимальной технологии регенерации;

- пути утилизации отработанных растворов ингибиторов, не подлежащих регенерации, с целью обеспечения постоянно повышающихся требований к охране окружающей среды (воздушного бассейна); обезвреживание промстоков и их закачка в поглощающие горизонты с учетом особенности охраны геологической среды.

#### 1.4. Рынок метанола и потребление метанола в России

Потребление метилового спирта в России ежегодно растет, это связано прежде всего с увеличением объемов производства химической и нефтехимической продукции.

Рынок метанола в России после кризиса 2009 г. активно рос, каждый год прибавляя по 6-8 %, однако пару лет назад достиг потолка – сейчас загрузка мощностей приблизилась к максимальной.

К 2021 г. мировой спрос на метанол может достигнуть 117 млн т, (прогноз Вольфганга Зойзера, управляющий директор по Европе MMSA). [8]

О ситуации на российском рынке метанола по итогам 2015 г. (рис. 4): производство составило 3,64 млн т, что всего лишь на 0,7 % больше по сравнению с данными за 2014 г. – и это несмотря на запуск в августе 2015 г. нового предприятия «Аммоний». Средняя загрузка мощностей по стране составила 89 %. Крупнейшие российские производители – это «Метафракс» (25,9 %), «Сибметакхим» (24,3 %) и «Томет» (20,2 %), т.е. предприятия, специализирующиеся именно на производстве метанола.

Потребности внутреннего рынка полностью обеспечиваются отечественным производством, импорт отсутствует. Доля товарного метанола в 2015 г. составила 46 %, на внутривозвратное потребление направлено 19 %, на экспорт — 35 %. Практически весь метанол перевозится по железной дороге, наибольший объем внутренних перевозок – 33 % — приходится на расстояние от 600 до 1000 км. [8]

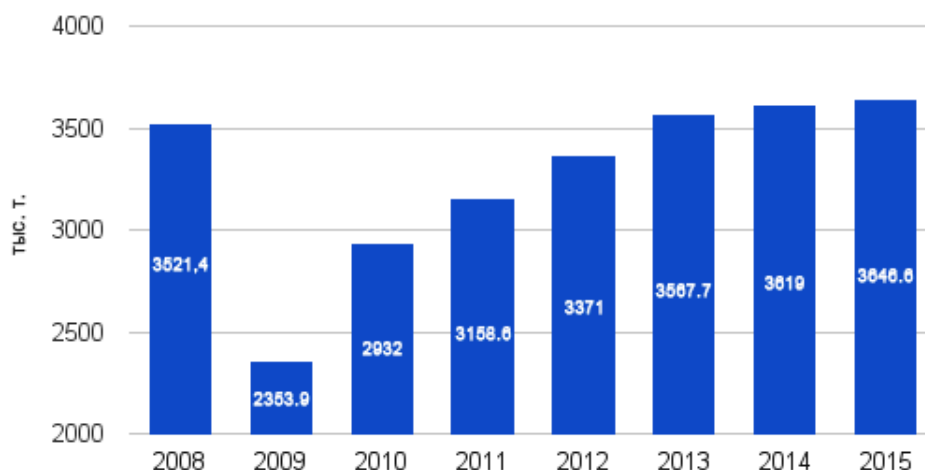


Рисунок 4 – Производство метанола в РФ в 2008-2015 гг.

Потребление метилового спирта в 2015 г. составило 2,39 млн т, это на 13 % превышает показатель 2014 г. На долю 10 крупнейших потребителей приходится до 70 % от объема потребления товарного метанола. Основной индивидуальный потребитель – производитель изопрена и МТБЭ «Нижнекамскнефтехим».

Российская структура потребления метанола существенно отличается от мировой – у нас значительно выше доля продукта, идущего на формальдегид, и отсутствует его потребление в качестве альтернативного топлива (рис. 5). Крупным внутренним потребителем является газодобывающая отрасль, использующая метанол в качестве ингибитора, препятствующего образованию гидратных пробок при добыче и транспортировке газа. В 2015 г. использование метанола при добыче и транспортировке газа выросло до 400 тыс. т и составило 17 % от всего объема потребления в России. [8]

Структура потребления метанола в РФ в 2015 г., %

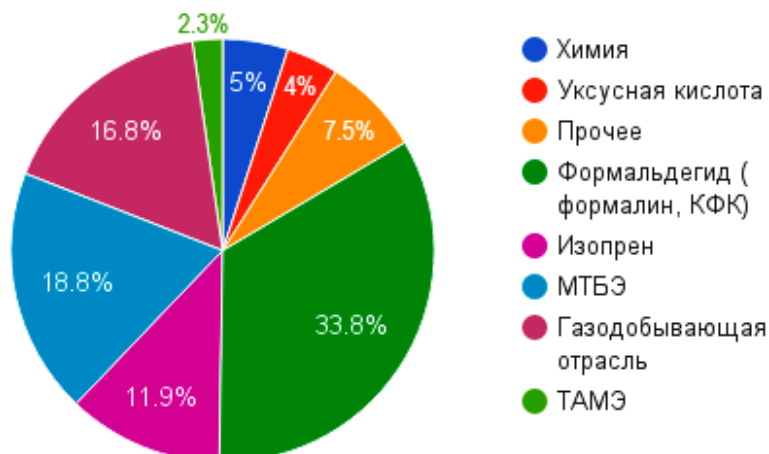


Рисунок 5 – Структура потребления метанола в РФ в 2015г.

Рост потребления метанола связан прежде всего с разработкой валанжинских и ачимовских залежей, газ с которых характеризуется более высоким конденсатным фактором, нежели сеноманский сухой газ, а, следовательно, применением схемы промышленной подготовки конденсатосодержащих газов данных месторождений, которая будет проводиться методом низкотемпературной сепарации (НТС) на температурном уровне минус 25-30 °С или методом НТС на температурном уровне -70 °С. Значительный рост потребления метанола будет вызван также началом освоения месторождений полуострова Ямал, Обской и Тазовской губ, где для подготовки газа к транспорту принята схема НТС на температурном уровне -70 °С. [9]

**1.5. Промысловые испытания экологически безопасного малорасходного ингибитора образования газовых гидратов кинетического действия (на примере одного из месторождений Вуктыльского геолого-экономического района).**

Высокие давления, низкая температура и наличие влаги в газовых

потоках месторождения способствуют образованию газовых гидратов и вытекающим из этих условий осложнениям. С целью предотвращения гидратообразования на месторождении используют метанол, который от разделительной панели по индивидуальным трубопроводам диаметром 25 мм направляется в скважины, шлейфы скважин перед задвижками, на сепараторы промышленной подготовки газа. Средний расход метанола по предприятию установлен в размере 1,08 кг на 1000 м<sup>3</sup> природного газа. При указанных объемах добычи газа суточный расход метанола на месторождении составлял приблизительно 280...364 кг.

Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ» совместно с ООО «Дельта-проминновация» по заданию ПАО «Газпром» разработан, запатентован и испытан экологически безопасный ингибитор гидратообразования кинетического действия с пониженным его расходом.

Приготовление опытной партии кинетического ингибитора «КИГ-Дельта» производилось путем смешивания двух основных компонентов низкомолекулярных циклических полимеров (10 %) и спиртосодержащего растворителя (фракция головная этилового спирта – эфиральдегидная фракция). Смесь низкомолекулярных циклических полимеров, в свою очередь, состояла в равных долях из водорастворимых поливинилкапролактама и поливинилпирролидона. Поскольку ингибитор планировался на объектах, находящихся в холодной климатической зоне, использован незамерзающий растворитель – этиловый спирт. Смешение компонентов осуществлялось в емкости с помощью насоса, обеспечивающего циркуляцию жидкости в течение 30 мин до получения гомогенной смеси, при атмосферном давлении и температуре окружающей среды -10°С.

На момент испытаний ингибитора скважины месторождения характеризовались следующими устьевыми показателями: давлением 2,6...6,8 МПа и температурой 0...12°С. Продукция скважин в основном состояла из газа (в основном из метана), газового конденсата, пластовой воды. Дебит скважин варьировал по газу от 14 до 83 тыс. м<sup>3</sup>/сут., газовому конденсату от 0,1

до 13,9 т/сут, пластовой воде от 0,2 м<sup>3</sup>/сут.

Промысловые испытания КИГ проводились в два этапа по заранее разработанной и утвержденной программе на участке газопровода «шлейф скв. 21 – блок входных ниток (БВН) – теплообменник»: первый этап – подтверждение образования газовых гидратов в технологическом оборудовании на исследуемом участке; второй этап – испытание КИГ. Основной целью проведения промысловых испытаний являлось установление влияния и определение оптимально удельного расхода КИГ.

Диагностика начала образования газовых гидратов осуществлялась исходя из следующих критериев:

- Перепадов давления и температуры. Скачок и дальнейший рост перепада давления по сравнению с начальным значением свидетельствует о нарастании гидравлического сопротивления за счет уменьшения эффективного сечения потока вследствие отложения газовых гидратов на внутренней поверхности труб;
  - Изменения дебита скважины по газу в сравнении с измеренным до начала испытаний значением, соответствующим безгидратному режиму работы скважины;
  - Концентрации ингибитора в пробах газа и газового конденсата, взятых из точек отбора на устье скважины, на выходе замерного сепаратора
- С - 13.

На рисунке 6 изображена принципиальная технологическая схема подачи КИГ.

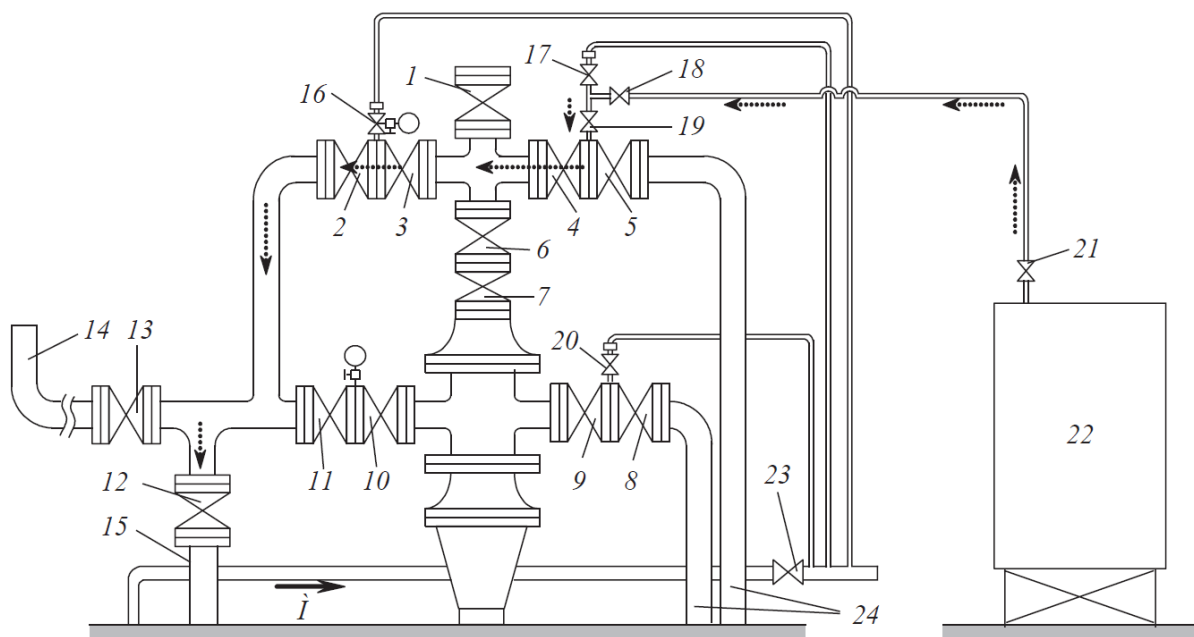


Рисунок 6 – Принципиальная технологическая схема подачи КИГ

1...13 – задвижки, 14 – факельная линия, 15 – шлейф скважины,  
16...21 – вентили, 22 – установка для дозирования подачи ингибитора,  
23 – задвижка метанольной линии, 24 – задавочные линии,

М – метанол.

КИГ подавался устройством 22 в точку ввода ингибитора, расположенную между задвижками 4 и 5, далее по шлейфу совместно с продукцией скважины поступал на БВН установки комплексной подготовки газа.

В период испытаний подача КИГ с устья скважины в шлейф для обеспечения безгидратного режима работы исследуемого участка промысловой системы осуществлялась в режиме понижающих дозировок (удельных расходов) 15, 12, 9, и 6 л/сут. При первых трех дозировках ингибитора система работала без образования гидратов в течение 91 ч. При удельно расходе КИГ 6 л/сут (0,25 л/ч) началось образование газовых гидратов (наблюдалось по росту давления на ВБН). В связи с тем, что провести дальнейшую оптимизацию удельного расхода КИГ между 6 и 9 л/сут по объективным причинам не представилось возможным, для рассматриваемых условий оптимальной принята



дозировка ингибитора 9 л/сут (0,4 л/ч).

Объем добываемого природного газа из скв.21 в течение проведения промысловых испытаний КИГ изменился в пределах 32...50 тыс. м<sup>3</sup>/сут со средним значением 45 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Анализ результатов испытаний подтверждает эффективность КИГ, так как в сравнении с метанолом достигнуты больший период времени до образования газовых гидратов (91 ч, или ~4 сут, против 1...7 ч) и в 5...6 раз меньший удельный расход ингибитора.

Таким образом, проведение комплексных теоретических, лабораторных, и промысловых исследований ингибиторов кинетического действия сохраняет актуальность и целесообразность с точки зрения определения основных условий успешной реализации мероприятий по предотвращению проблем, обусловленных образованием гидратов. Кроме того, ситуация Крайнего Севера, в которой находится основная часть газодобывающих объектов ПАО «Газпром», требует применения новых эффективных и безопасных технологий, поэтому использование на промыслах экологически безопасных химических реагентов, в том числе ингибиторов гидратообразования, является весьма перспективным направлением оптимизации производственного процесса добычи и промысловой подготовки углеводородов. [7, с.243-247]

## 2. Геолого-физическая характеристика Заполярного НГКМ

### 2.1. Общие сведения о месторождении

Заполярное месторождение расположено на территории Ямало-Ненецкого автономного округа в северо-западной части Пур-Тазовского междуречья, в 80 км к юго-востоку от районного центра Тазовский (рис.7).



Рисунок 7 – Ямало-Ненецкий автономный округ

Населенным пунктом является вахтовый п. Новозаполярный, построенный с целью размещения персонала для обустройства и разработки Заполярного месторождения. Ближайший поселок - Самбург, находится в 60 км

на западе, а на северо-западе в 85 км находится районный центр - пос. Тазовский.

Территория Пур-Тазовского междуречья представляет собой полого-холмистую равнину, поверхность которой наклонена в северо-восточном направлении к долине реки Таз.

На данной территории много озер, которые занимают 60% площади водораздела. Размеры отдельных озер до 3-5 км в поперечнике, глубина до трех метров. Сильному заболачиванию почвы способствует наличие слоя вечной мерзлоты.

Реки, пересекающие площадь с юго-востока на северо-запад (Малая Хэяха, Большая Хэяха, Юридейяха), несудоходны. Русла их извилисты, берега обрывисты. Ледостав на реках и озерах заканчивается в октябре, однако передвижение гусеничного транспорта по водным преградам возможно лишь в конце ноября. Освобождение рек ото льда происходит в конце мая - начале июня.

Климат района резко континентальный с продолжительной суровой зимой. Лето короткое, прохладное и ветренное с похолоданиями и заморозками.

Среднегодовая температура минус 10<sup>0</sup>С. Устойчивые морозы держатся 210 дней. Самые холодные месяцы - январь, февраль. Морозы достигают минус 45-50<sup>0</sup>С. Самый теплый месяц - июль, его средняя температура 15-17<sup>0</sup>С.

Количество атмосферных осадков колеблется от 337 до 635 мм в год и в среднем составляет 460 мм.

Суровые природно-климатические условия делают район труднодоступным для освоения. Основное население ханты, ненцы, русские и другие, плотность - 1 человек на 6 км<sup>2</sup>. Коренные жители занимаются оленеводством, пушным и рыбным промыслом. С развитием геологоразведочных работ население постоянно увеличивается за счет приезда из других районов.

## 2.2. Литолого-стратиграфическое строение Заполярного НГКМ

В строении месторождения принимают участие юрские, меловые, палеогеновые и четвертичные отложения. Глубина залегания фундамента по данным сейсмических исследований 4-4,5 км. [5, с.333-334]

На рисунке 8 изображена структурная карта по кровле сеноманских отложений.

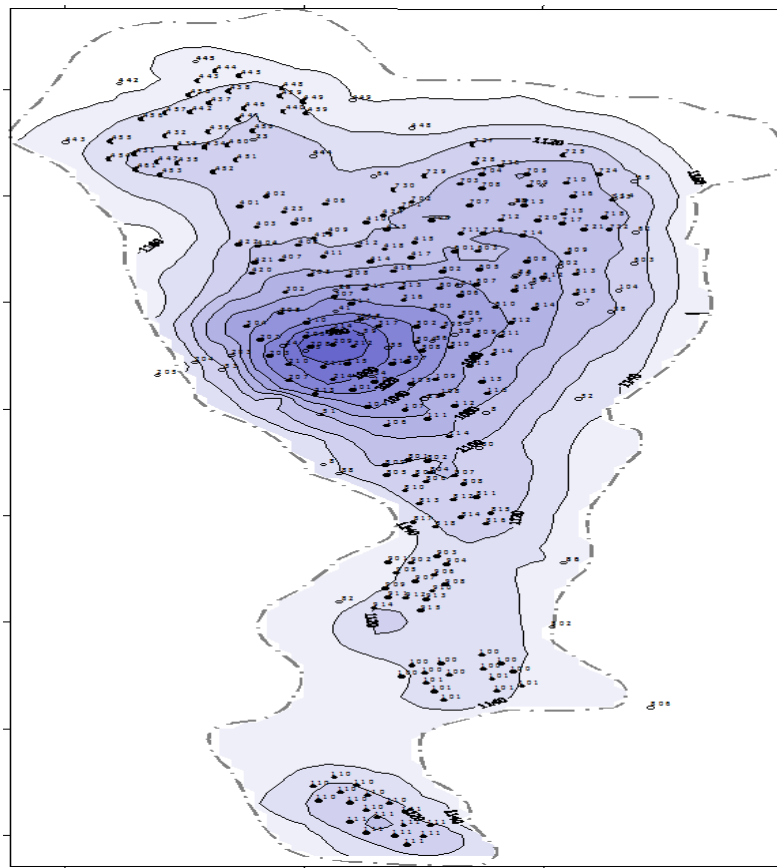


Рисунок 8 – Структурная карта по кровле сеноманских отложений

Согласно нефтегазогеологическому районированию, месторождение расположено в Тазовском нефтегазоносном районе Пур-Тазовской нефтегазоносной области. На месторождении выделено два комплекса резервуаров: верхний – газоносный, приурочен к верхнемеловым отложениям – покурской свите сеномана (пласты группы ПК); нижний – нефтегазоконденсатный, приурочен к валанжинским отложениям; в

нижнемеловых отложениях открыта промышленная нефтегазоносность пластов БТ<sub>2-3</sub>, БТ<sub>6-8</sub>, БТ<sub>10</sub>, БТ<sub>11</sub><sup>1</sup>, БТ<sub>11</sub><sup>2</sup>. Промышленная газоконденсатная залежь открыта в средней юре в пласте Ю<sub>2</sub> (тюменской свиты).

Сеноманская газоконденсатная залежь по типу относится к массивной, является водоплавающей. Газо-водяной контакт находится на отметке -1310м (рис.9). При испытании газонасыщенных интервалов дебиты газа составили от 300 до 844 тыс. м<sup>3</sup>/сут. [6, с.204-206]

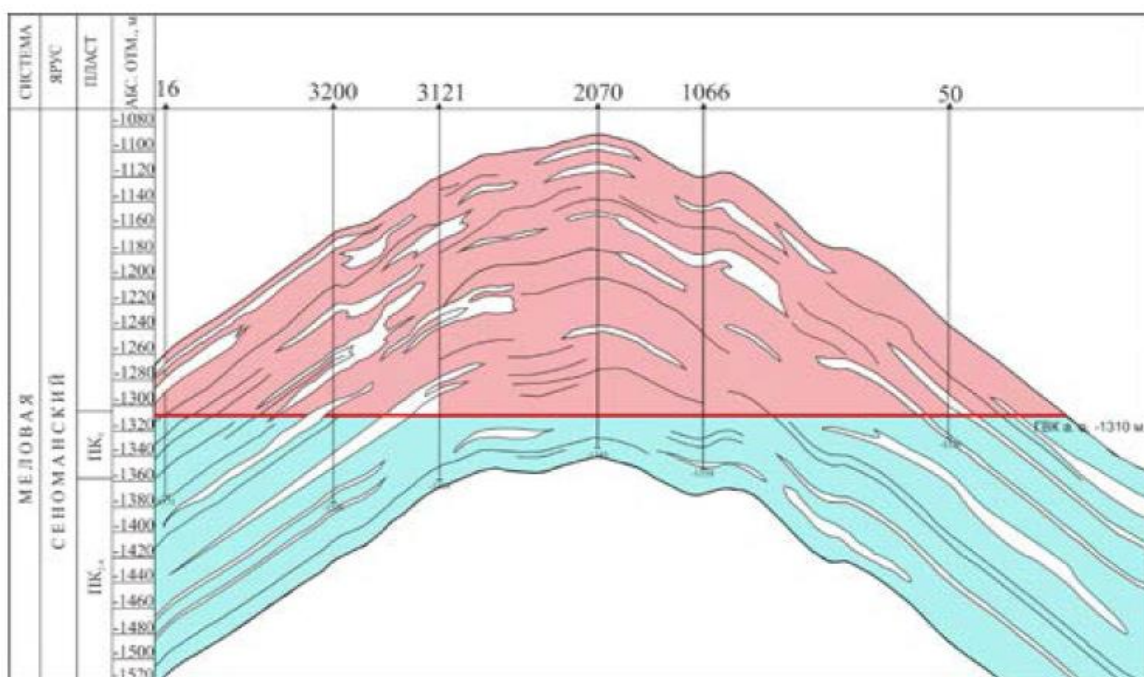


Рисунок 9 – Геологический разрез сеноманской газовой залежи Заполярного месторождения по линии скважин 16-3200-3121-2070-1066-50

К коллекторам относятся песчаники и алевролиты слабосцементированные; крышкой являются морские глины кузнецовской свиты. Отложения пласта ПК<sub>1</sub> заканчивают разрез прибрежно-континентальных осадков. По литологическим особенностям и условиям образования пласт делится на пять преимущественно песчаных пропластков, разделенных между собой глинистыми и углистыми прослоями. Снизу-вверх по разрезу они проиндексированы как ПК<sub>1</sub><sup>5</sup> – ПК<sub>1</sub><sup>1</sup>.

Породы слагающие нижнюю часть пласта ПК1 (пласты ПК<sub>1</sub><sup>5</sup> и ПК<sub>1</sub><sup>4</sup>), представлены песчаниками крупно-среднезернистым с косою разнонаправленной, волнистой, участками размытой слоистостью. Верхняя часть пласта ПК1 (пласты ПК<sub>1</sub><sup>1</sup>, ПК<sub>1</sub><sup>2</sup>, ПК<sub>1</sub><sup>3</sup>) представлена мелкозернистыми песчаниками и алевролитами.

Породы пласта ПК1 представлены в основном слабосцементированными песчаниками с небольшими по мощности прослоями глинисто-алевритовых пород.

Породы-коллекторы из основного участка продуктивного пласта ПК1 характеризуются высокими фильтрационно-емкостными свойствами. В его пределах средневзвешенная эффективная пористость газонасыщенных пород-коллекторов составляет 24,0-31,5 % и лишь на отдельных периферийных участках уменьшается до 20-22 %. Выделяется небольшая группа пород с карбонатным цементом с пористостью менее 20 %.

Проницаемость пород измеряется в диапазоне 0,65-5887,00 мД.

Газ сеноманской продуктивной толщи имеет преимущественно метановый состав, сухой, мало азотистый, легкий (содержание тяжелых углеводородов в среднем составляет 0,13 %). Инертные газы обнаружены в непромышленных концентрациях. В незначительном количестве присутствуют следы бутана

Запасы газа сеноманской залежи были подсчитаны объемным методом. По категории В они составили около 3,0 трлн м<sup>3</sup>, по категории С<sub>1</sub> – 1,6 трлн м<sup>3</sup>. По запасам газа месторождение относится к категории уникальных. [6, с.204-206]

В таблице 2 приведены характеристики сырого (исходного) сырья.

В таблице 3 приведены характеристики товарного газа.

[Таблица 2, стр.39 удалена – содержит коммерческую тайну]

[Таблица 3, стр.39-41 удалена – содержит коммерческую тайну]

### **3. Методы борьбы с техногенным гидратообразованием в газопромысловых системах**

[Раздел 3, стр.42-56 удален – содержит коммерческую тайну]

#### 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

В данном разделе рассматривается экономическая эффективность работ по борьбе с гидратообразованием на Заполярном месторождении на основе решений, приведённых в технологической части работы.

Далее приведены экономические расчеты эксплуатационных затрат на проведение мероприятий по борьбе с гидратообразованием и сравнения экономической эффективности ингибиторов гидратообразования при транспортировке газа по газопроводу, таких как, метанол и хлорид кальция.

В качестве исходных данных возьмем следующие значения:

- Стоимость тонны метанола,  $C_{\text{СН}_3\text{ОН}}$  – 28 тыс. руб/т;
- Стоимость тонны хлорида кальция,  $C_{\text{CaCl}_2}$  – 21 тыс. руб/т;
- Количество метанола,  $M_{\text{СН}_3\text{ОН}}$  – 45,6 т.;
- Количество хлорида кальция,  $M_{\text{CaCl}_2}$  – 246,4 т.;
- стоимость аренды агрегата для заправки ингибиторных емкостей,  $C_a$  – 2 тыс. руб./ч;
- объем емкости,  $V_e$  – 0,033 м<sup>3</sup>;
- плотность метанола,  $\rho_{\text{СН}_3\text{ОН}}$  – 791,8 кг/м<sup>3</sup>;
- плотность хлорида кальция,  $\rho_{\text{CaCl}_2}$  – 1335 кг/м<sup>3</sup>.

Экономический расчет будем проводить по следующим формулам:

1. Суммарные расходы (Р) вычисляются путем сложения расходов на ингибитор и аренду агрегата:

$$P = P_{\text{и}} + P_{\text{а}}, \text{руб}, (4.1)$$

2. Расходы на ингибитор определяются по следующей формуле:

$$P_{\text{и}} = C_{\text{и}} + M_{\text{и}}, \text{руб}, (4.2)$$

3. В среднем, на заправочном агрегате можно заправить в час две метанольные емкости. Представим объем заправки за час формулой:

$$V_{\text{ч}} = 2 * V_e, \text{м}^3, (4.3)$$



4. Выполняем расчет общего времени работы данного агрегата по следующей формуле:

$$T_a = \frac{V_{из}}{2 * V_e}, \text{ час, (4.4)}$$

где  $V_{из}$  – это объем ингибитора для заправки, рассчитываемый по формуле:

$$V_{из} = \frac{M}{\rho}, \text{ м}^3, \text{ (4.5)}$$

5. Расходы на аренду агрегата рассчитывается по формуле:

$$P_a = C_a * T_a, \text{ руб, (4.6)}$$

6. Так как основные средства представлены арендованным имуществом, то величиной амортизации будет являться суммарная стоимость владения этим имуществом. В данном случае будет выполняться равенство:

$$A = P_a, \text{ руб, (4.7)}$$

#### **4.1. Расчет экономических затрат на закачку метанола**

1. Определим расходы на метанол:

$$P_{\text{СНЗОН}} = C_{\text{СНЗОН}} * M_{\text{СНЗОН}} = 28 * 45,6 = 1276,8 \text{ тыс. руб.}$$

2. Найдем объем метанола для заправки:

$$V_{\text{СНЗОН}} = \frac{M_{\text{СНЗОН}}}{\rho_{\text{СНЗОН}}} = \frac{45,6}{0,7918} = 57,59 \text{ м}^3$$

3. Определим объем заправки за один час (4.3):

$$V_q = 2 * 0,033 = 0,066 \text{ м}^3$$

4. Найдем общее время работы машины (4.4):

$$T_{\text{СНЗОН}} = \frac{57,59}{0,066} = 872,58 \text{ ч}$$

5. Определим расходы на аренду агрегата (4.6):

$$P_{a\text{СНЗОН}} = 2 * 872,58 = 1745,16 \text{ тыс. руб.}$$

6. Вычислим суммарные расходы:

$$P_{\text{СНЗОН}} = P_{\text{СНЗОН}} + P_{a\text{СНЗОН}} = 1276,8 + 1745,16 = 3021,96 \text{ тыс. руб.}$$

## 4.2. Расчет экономических затрат на закачку хлорида кальция

1. Определим расходы на хлорид кальция:

$$P_{\text{CaCl}_2} = C_{\text{CaCl}_2} * M_{\text{CaCl}_2} = 21 * 246,4 = 5174,4 \text{ тыс. руб.}$$

2. Найдем объем метанола для заправки:

$$V_{\text{CaCl}_2} = \frac{M_{\text{CaCl}_2}}{\rho_{\text{CaCl}_2}} = \frac{246,4}{1,335} = 184,57 \text{ м}^3$$

3. Определим объем заправки за один час (4.3):

$$V_{\text{ч}} = 2 * 0,033 = 0,066 \text{ м}^3$$

4. Найдем общее время работы машины (4.4):

$$T_{\text{CaCl}_2} = \frac{184,57}{0,066} = 2796,50 \text{ ч}$$

5. Определим расходы на аренду агрегата (4.6):

$$P_{\text{аCaCl}_2} = 2 * 2796,50 = 5593,10 \text{ тыс. руб.}$$

6. Вычислим суммарные расходы:

$$P_{\text{CaCl}_2} = P_{\text{CaCl}_2} + P_{\text{аCaCl}_2} = 5174,4 + 5593,10 = 10767,41 \text{ тыс. руб.}$$

## 4.3. Сравнение экономических затрат на применение ингибиторов

Из расчета экономических затрат можно сказать, что затраты на применение хлорида кальция почти в 3 раза превышают затраты на применение метанола, это связано с тем, что необходимо хлорида кальция необходимо для предупреждения гидратообразования в 5,37 раз больше, чем метанола. Отсюда можно сделать вывод о том, что применение метанола для борьбы с гидратообразованием более экономически выгодно, чем использование хлорида кальция, несмотря на то, что оптовая цена последнего на 25% ниже.

Результаты расчета представлены в таблице 6.

Таблица 6 – результаты расчета экономических затрат на применение ингибиторов

<b>Показатель</b>	<b>Ед.изм.</b>	<b>Метанол</b>	<b>Хлорид кальция</b>
Стоимость ингибитора	тыс. руб/т	28,00	21,00
Расходы на ингибитор	тыс. руб.	1276,80	5174,40
Вес ингибитора для заправки	т	45,60	246,40
Объем ингибитора для заправки	м <sup>3</sup>	57,59	184,57
Стоимость аренды машины для заправки ингибитора	тыс. руб/ч	2,00	2,00
Расходы на аренду агрегата	тыс. руб.	1745,16	5593,10
Объем заправки на 1 час	м <sup>3</sup>	0,066	0,066
Общее время работы машины	ч	872,58	2796,50
<b>Итого расходов</b>	<b>тыс. руб.</b>	<b>3021,96</b>	<b>10767,41</b>

## **5. Социальная ответственность**

В данном разделе рассмотрены основные вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с техникой безопасности, производственной безопасности.

Основными вредными факторами на производстве являются:

- Повышенный уровень шума на рабочем месте;
- Повышенный уровень вибрации;
- Отклонение показателей микроклимата в помещении и на открытом воздухе;
- Вредные вещества.

К опасным факторам на производстве относятся:

- Электричество
- Пожаровзрывоопасность
- Высокое давление

Для повышения экономической эффективности работы предприятия необходимо создать безопасные условия труда для работников, так как высокая степень безопасности на предприятии минимизирует риск несчастных случаев и повышает производительность труда персонала на производстве.

### **5.1. Производственная безопасность**

В данном разделе указаны вредные и опасные факторы, выявленные при разработке проектируемого решения.

К группе физических факторов относят воздействие электрического тока на организм человека, влияние повышенного уровня шума и вибрации, влияние неустойчивых климатических условий,

К группе химических факторов относятся токсичность вещества для предотвращения гидратообразования – метанола, и вещества для осушки газа –

диэтиленгликоля. Данные вещества могут попасть в организм человека по дыхательным путям и желудочно-кишечному тракту.

### **5.1.1. Анализ выявленных вредных факторов**

#### **Повышенный уровень шума на рабочем месте**

Вследствие работы аппаратов воздушного охлаждения и прохождения газа под высоким давлением по трубопроводам имеет место такой вредный фактор, как повышенный уровень шума.

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты.

Внезапные шумы высокой интенсивности, даже кратковременные (взрывы, удары и т.п.), могут вызвать как острые нейросенсорные эффекты (головокружение, звон в ушах, снижение слуха), так и физические повреждения (разрыв барабанной перепонки с кровотечением, поражения среднего уха и улитки).

Нарушения слуха – проблема не только здоровья отдельного работника, но и безопасности труда как его самого, так и третьих лиц. [10]

Допустимый уровень звукового давления для работников, выполняющих операторские задачи по точному графику с инструкцией составляет 65 дБА в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83. [11]

При разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочего места следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека на рабочих местах, до значений, не превышающих допустимые:

- разработкой шумобезопасной техники;

- применением средств и методов коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029;

- применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-87. [13]

Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБА должны быть обозначены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026. [12] Работаящих в этих зонах администрация обязана снабжать средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-87. [13]

### **Повышенный уровень вибрации**

На производстве источниками вибрации являются работающие электродвигатели насосов, аппараты воздушного охлаждения.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни.

Основным документом, регламентирующим уровень вибрации на рабочих местах, является СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [14]. В этом документе приведены предельно допустимые значения колебательной скорости, колебательного ускорения и их уровней в октавных и третьоктавных полосах частот для локальной и общей вибрации в зависимости от источника возникновения, направления действия.

В таблице 7 приведены предельно-допустимые значения производственной локальной вибрации.

Таблица 7 - Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации [14]

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	*Предельно допустимые значения по осям Хл, Ул, Zл			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с·10 <sup>-2</sup>	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112
* Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе, не допускается.				

### Отклонения показателей микроклимата в помещении и на рабочем месте

Параметры микроклимата оказывают существенное влияние на самочувствие, состояние здоровья и работоспособность человека. Отклонение параметров микроклимата приводит к нарушению теплового баланса. Например, понижение температуры окружающего воздуха приводит к увеличению теплоотдачи от организма за счет теплопроводности, конвекции и излучения. Слишком сильное понижение температуры может привести к чрезмерному переохлаждению организма. Понижение температуры и повышение скорости

движения воздуха также увеличивает теплоотдачу от организма и может привести к переохлаждению организма за счет возрастания отдачи теплоты конвекцией и при испарении пота.

При переохлаждении организма уменьшается функциональная деятельность органов человека, скорость биохимических процессов, снижается внимание, затормаживается умственная деятельность и, в конечном счете, снижается активность и работоспособность. При повышении температуры тепловыделения человека начинают превышать теплоотдачу, может возникать перегрев организма. Ухудшается самочувствие и падает работоспособность. Действие высокой температура воздуха на организм нередко вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, наблюдаются изменения со стороны дыхания, снижается секреция желудочного и поджелудочного сока, желчи, угнетается моторика желудка, снижается сила условных рефлексов, ослабляется внимание, ухудшается координация движения, что может быть причиной роста травматизма, снижение работоспособности и производительности труда.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 [15] показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Операторская работа относится к категории энергозатрат Iб, следовательно, нормальными показателями микроклимата являются следующие значения (табл. 8):



Таблица 8 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [15]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

### Вредные вещества

Метанол используется в качестве ингибитора гидратообразования. Диэтиленгликоль используется для осушки газа.

Метанол – наиболее токсичное соединение среди всех спиртов. Он окисляется в организме человека значительно медленнее, чем этиловый спирт, и в ходе его окисления образуются различные ядовитые вещества.

Метиловый спирт быстро всасывается в желудке и тонком кишечнике. Почти весь метанол (90 %) метаболизируется в печени при помощи фермента алкогольдегидрогеназы, в результате чего образуются формальдегид и муравьиная кислота, обладающие высокой токсичностью. Метаболиты метанола удаляются почками, а меньшая часть (15 %) в неизменном виде выделяется через легкие.

Метанол является сильным ядом преимущественно нервного и сердечно-сосудистого действия с выраженными кумулятивными свойствами. Токсическое действие метанола связано с угнетением центральной нервной системы, развитием тяжелого метаболического ацидоза (изменение кислотно-щелочного баланса организма), поражением сетчатки глаза и дистрофией зрительного нерва.

Острое отравление при вдыхании паров встречается редко. Опасен прием метанола внутрь: 5-10 мл могут вызвать тяжелые отравления и слепоту, а 30 мл – привести к смертельному исходу. Острое отравление характеризуется

состоянием легкого опьянения, тошнотой, рвотой, сильной головной болью, резким ухудшением зрения вплоть до слепоты; при утяжелении состояния - цианоз (синюшная окраска кожи и слизистых оболочек), затрудненное дыхание, расширение зрачков, судороги и смерть от остановки дыхания.

При очень больших дозах отравление может протекать в молниеносной форме, смерть наступает в течение 2-3 часов. Летальность при отравлении метиловым спиртом значительна.

Хронические отравления характеризуются головокружением, головной болью, бессонницей, повышенной утомляемостью, желудочно-кишечными расстройствами, болями в области сердца и печени, нарушением функции зрения, прежде всего цветного.

Метанол - особо опасная легковоспламеняющаяся жидкость. Температура вспышки 6°C. Температура воспламенения 13°C.

Температура самовоспламенения 440°C. Температурные пределы распространения пламени: нижний - 5°C, верхний - 39°C; концентрационные пределы распространения пламени 6,98 % - 35,5 % (об.). [16]

Метанол, как и диэтиленгликоль по степени воздействия на организм человека относится к умеренно опасным веществам (3-й класс опасности) по ГОСТ 12.1.005-88. [17] Предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны - 5 мг/м<sup>3</sup>, максимальная разовая концентрация в атмосферном воздухе населенных мест - 1 мг/м<sup>3</sup>, среднесуточная - 0,5 мг/м<sup>3</sup>. [16]

Контроль концентрации метанола в воздухе рабочей зоны должен проводиться одним из методов, утвержденных органами здравоохранения контроля - по ГОСТ 12.1.005-88. [17]

При работе с метанолом, транспортировании и хранении необходимо соблюдать «Общие санитарные правила при работе с метанолом» (№ 4132-86 от 18.07.86). [18]

Производственные и лабораторные помещения, в которых проводятся работы с метанолом, должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией и местной вентиляцией, соответствующими требованиям ГОСТ 12.4.021-75 [19],

обеспечивающими состояние воздуха рабочей зоны в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005-88. [17]

В производственных помещениях, в которых проводится работа с метанолом, на видном месте должны быть расположены знаки 1.1; 1.2; 1.3; 2.1; 2.4 по ГОСТ 12.4.026 [12].

Средства индивидуальной защиты: защитные очки по ГОСТ Р 12.4.013-97 [20], резиновые перчатки по ГОСТ 20010-93 [21], спецодежда и обувь по ГОСТ 12.4.103-83 [22] в соответствии с типовыми отраслевыми нормами, утвержденными в установленном порядке. При высоких концентрациях паров (выше ПДК) следует использовать фильтрующий промышленный противогаз марок А, М или БКФ по ГОСТ 12.4.121-83 [23].

Для защиты окружающей среды при изготовлении метанола должна быть предусмотрена герметизация технологического оборудования. Контроль за соблюдением предельно допустимых выбросов (ПДВ) должен осуществляться в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.3.02-2014 [24]. Утилизация отходов должна осуществляться в соответствии с «Санитарными правилами порядка накопления, транспортирования, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов» (№ 8180-84 от 28.12.84). [25]

Диэтиленгликоль оказывает общетоксичное и раздражающее действие. При попадании в организм вызывает острое отравление, действует на центральную нервную систему и почки. В связи с низкой упругостью паров не представляет опасности острых ингаляционных отравлений. [26]

Показатели пожаровзрывоопасности — по ГОСТ 12.1.044-89. [27]

При возгорании диэтиленгликоля — токсичных веществ не образуется. В условиях пожара следует применять противогаз марки КИП-8 или АСВ-2. Тушить следует водой, водяным паром, пеной или углекислотой.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) диэтиленгликоля в воздухе рабочей зоны производственных помещений — 10 мг/м<sup>3</sup> (3-й класс опасности по ГОСТ 12.1.005-88. [17])

При производстве и применении диэтиленгликоля должны соблюдаться требования пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 [28].

### **5.1.2. Анализ выявленных опасных факторов**

#### **Электробезопасность**

Действие электрического тока более 25 мА приводит к параличу мышц органов дыхания в результате чего человек может просто-напросто задохнуться. При дальнейшем увеличении тока возникает фибрилляция сердца.

Электрический ток проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

- термическое;
- электролитическое;
- биологическое.

Термическое действие тока подразумевает появление на теле ожогов разных форм, перегревание кровеносных сосудов и нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока.

Электролитическое действие проявляется в расщепление крови и иной органической жидкости в тканях организма вызывая существенные изменения ее физико-химического состава.

Биологическое действие вызывает нарушение нормальной работы мышечной системы. Возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц, опасно такое влияние на органы дыхания и кровообращения, таких как легкие и сердце, это может привести к нарушению их нормальной работы, в том числе и к абсолютному прекращению их функциональности.

Согласно требованиям электробезопасности, ГОСТ Р 12.1.019-2009 [29], электробезопасность должна обеспечиваться:

- конструкцией электроустановок;
- техническими способами и средствами защиты;

- организационными и техническими мероприятиями.

Электроустановки и их части должны быть выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности. [29]

К средствам защиты относят:

- изолирующие клещи;
- диэлектрические перчатки, боты;
- индивидуальные экранирующие комплекты;
- плакаты и знаки безопасности;
- оградительные устройства.

В качестве организационно-технических мер обеспечения электробезопасности используются методы ориентации, к которым относят: специальная маркировка частей электрооборудования, предупредительные знаки, надписи и таблички, окраска токоведущих частей [29].

### **Пожарная безопасность**

Причиной возгорания или взрыва может послужить утечка природного газа при разгерметизации оборудования, по которому движется, или в котором находится газ, в сочетании с открытым огнем при проведении огневых работ или искрами, высекаемыми при работе непожаробезопасными инструментами.

Для предупреждения взрыва необходимо исключить:

- образование взрывоопасной среды;
- возникновение источника инициирования взрыва. Взрывоопасную среду могут образовать:

- смеси веществ (газов, паров, пылей) с воздухом и другими окислителями (кислород, озон, хлор, окислы азота и др.);

- вещества, склонные к взрывному превращению (ацетилен, озон, гидразин и др.).

Источником инициирования взрыва являются:

- открытое пламя, горящие и раскаленные тела;
- электрические разряды;
- тепловые проявления химических реакций и механических воздействий;

- искры от удара и трения;
- ударные волны;
- электромагнитные и другие излучения.

Предотвращение воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов, возникающих в результате взрыва, и сохранение материальных ценностей обеспечиваются:

- установлением минимальных количеств взрывоопасных веществ, применяемых в данных производственных процессах;

- применением огнепреградителей, гидрозатворов, водяных и пылевых заслонов, инертных (не поддерживающих горение) газовых или паровых завес;

- применением оборудования, рассчитанного на давление взрыва; - обваловкой и бункеровкой взрывоопасных участков производства или размещением их в защитных кабинах;

- защитой оборудования от разрушения при взрыве при помощи устройств аварийного сброса давления (предохранительные мембраны и клапаны);

- применением быстродействующих отсечных и обратных клапанов;
- применением систем активного подавления взрыва;
- применением средств предупредительной сигнализации. [30]

### **Высокое давление**

В составе УКПГ имеются сосуды и аппараты высокого давления, такие как: вентили, краны, трубопроводы и др.

За состоянием сосудов необходимо вести контроль. В случае обнаружения трещин, вспучивания стенок, пропускания газа или жидкости,

отпотевания в сварных швах, неисправности или некомплектности крепежных деталей, крышек и люков, неисправности или отсутствия предохранительных клапанов, манометров, термометров, сигнальных устройств и т. д. эксплуатация сосудов не допускается во избежание разрушения корпуса, вырывания крышек и люков сосуда и тому подобных аварий.

Обслуживающий персонал обо всех замеченных недостатках и неполадках в работе сосудов и принятых мерах для их устранения делает отметку в эксплуатационном журнале. На сосудах с открывающимися крышками, люками, фланцами и т. п. устанавливается вентиль или кран для дополнительного контроля за отсутствием в сосуде остаточного давления. Выходное отверстие вентиля или крана должно быть направлено в безопасное место.

## **5.2. Экологическая безопасность**

Экологическая безопасность обеспечивает соответствие экологической деятельности организации нормативным требованиям при помощи разработанных мер, как организационного, так и технического характера, составляющих целый комплекс. Необходимо отметить, что конкурентоспособность предприятия во многом определяется с точки зрения природоохранной деятельности этой организации. Таким образом, внедрение экологических технологий помогает сберечь энергетические и прочие ресурсы, что в свою очередь влияет на рентабельность производства, продуктивность работы, привлекательность для иностранного капиталовложения.

Экологическая безопасность на предприятии – это целый комплекс мер, направленных на первом этапе на выявление негативных факторов, которые могут повлиять на здоровье или даже жизнь работников предприятия.

### **5.2.1. Анализ воздействия на литосферу**

Всевозможные твердые бытовые и строительные отходы (ТБО и ТСО), сортируются в специальные емкости и утилизируются на специальных полигонах.

Отработанные нефтепродукты необходимо хранить в специально оборудованных емкостях и по мере накопления вывозятся.

Песок, загрязненный мазутом и маслами, утилизируется путем отжига на ГФУ.

Шлам от очистки технологических емкостей накапливаются в специальных контейнерах, установленных на железобетонных экранах, с последующим захоронением на полигоне.

### **5.2.2. Анализ воздействия на гидросферу**

Сточные воды от бытовых помещений комплекса сооружений УКПГ поступают в КНС бытовых стоков и далее по напорному коллектору внеплощадочных сетей направляются на канализационные очистные сооружения в районе ВЖК УКПГ-2С.

Постоянно нарабатываемые производственные стоки собираются в емкости Е-12, откуда насосом Н-2а или Н-4а непрерывно откачиваются на горизонтальное факельное устройство (ГФУ), где промстоки в распыленном состоянии вводятся в высокотемпературную зону горения установки. При этом капли воды испаряются, а органические примеси подвергаются термическому разложению и окислению, образуя продукты сгорания  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Вода от промывки аппаратов сбрасывается в емкостях Е-8а/1,2, Е-1а, Е- 12/1,2 и затем откачивается на ГФУ.



### **5.2.3. Анализ воздействия на атмосферу**

В период эксплуатации объектов УКПГ источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу являются различные дымовые и вентиляционные трубы технологических установок и агрегатов, свечи и дыхательные арматуры емкостей с вредными технологическими веществами и другое.

В год от УКПГ в атмосферу поступает 3472,8 т оксида углерода, 602,8 т оксида азота, 700,1 т метана, 0,87 т углеводородов C<sub>6</sub>- C<sub>10</sub>, 0,15 т сажи и 0,36 т диоксида серы и другие вредные компоненты.

Охрана приземного слоя атмосферы от загрязнения вредными выбросами обеспечивается высотой свечи и дымовых труб, при которой происходит их рассеивание в верхних слоях атмосферы.

### **5.2.4. Безопасность при чрезвычайных ситуациях**

На производстве всегда существует риск возникновения чрезвычайных происшествий. Обычно, подобные происшествия сопровождаются материальными потерями, поломкой оборудования, человеческими травмами и жертвами.

Для газового промысла характерны следующие ЧС:

- взрывы;
- пожары;
- аварийные выбросы токсичных веществ.

Образование пожаро- и взрывоопасной среды на УКПГ так или иначе связано с загазованностью или наличием в воздухе паров метанола или диэтиленгликоля.

При возникновении аварийных ситуаций на УКПГ необходимо немедленно докладывать диспетчеру ЦПДС и приступать к их локализации и устранению согласно плану ликвидации аварий (ПЛА), имеющемуся в

обязательном порядке на УКПП. Оперативная часть ПЛА должна быть вывешена на видном месте в операторной. Также должна быть вывешена схема оповещения с указанием номеров телефонов пожарной охраны, аварийных служб, медсанчасти.

Для своевременного обнаружения загазованности и предупреждения образования взрывоопасной смеси в цехах подготовки газа, регенерации ДЭГа и метанола установлены датчики газоанализаторов. При загазованности помещений установки, достигающей 20% нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПРП), от датчиков газоанализаторов производится сигнализация на пульт и автоматическое включение аварийной вентиляции, предусмотрено и ручное ее включение.

В это время производится интенсивный контроль воздушной среды переносными газоанализаторами, выявляются места повышенной загазованности.

Отмена аварийного положения осуществляется после обследования состояния оборудования и коммуникаций на месте аварии и повторных анализов воздушной среды на отсутствие опасной загазованности.

### **5.3. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Заполярье НГКМ расположено в районе, приуроченному к району Крайнего Севера.

Согласно ст. 315 Трудового кодекса РФ, оплата труда в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях осуществляется с применением районных коэффициентов и процентных надбавок к заработной плате. При этом основным документом, регулирующим оплату труда в данных регионах, является Закон РФ от 19 февраля 1993 г. N 4520-1 "О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях" (далее - Закон N 4520-1).

Районный коэффициент к заработной плате применяется с первого дня работы в районах Крайнего Севера. Районные коэффициенты установлены многочисленными нормативными правовыми актами РФ и СССР.

Ст. 319 ТК РФ установлен дополнительный ежемесячный выходной день без сохранения заработной платы одному из родителей (опекуну, попечителю, приемному родителю), работающему в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, имеющему ребенка в возрасте до 16 лет, по его письменному заявлению.

Кодекс формулирует предоставление дополнительного выходного дня без оплаты как право работника. Поэтому работодатель не вправе отказать в предоставлении такого дня при соблюдении условий ст. 319: если ребенку не исполнилось 16 лет и, если работник, входящий в круг указанных в этой статье лиц, подал письменное заявление о предоставлении такого дня.

Предоставление гарантий и компенсаций работникам Крайнего Севера и приравненных к ним местностей соотносится с принципами правового регулирования трудовых отношений, поскольку связано с особыми условиями труда.

Одной из важных правовых гарантий является установление женщинам в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях сокращенной рабочей недели. Ст. 320 ТК РФ предусматривает: для женщин, работающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, коллективным договором или трудовым договором устанавливается 36-часовая рабочая неделя, если меньшая продолжительность рабочей недели не предусмотрена для них федеральными законами. При этом заработная плата выплачивается в том же размере, что и при полной рабочей неделе.

Общая продолжительность ежегодного оплачиваемого отпуска определяется суммированием ежегодного основного и всех дополнительных ежегодных оплачиваемых отпусков. Общая продолжительность ежегодных оплачиваемых отпусков работающим по совместительству устанавливается на общих основаниях.

Полное или частичное соединение ежегодных оплачиваемых отпусков работникам северных районов допускается не более чем за 2 года. При этом общая продолжительность предоставляемого отпуска не должна превышать 6 месяцев, включая время отпуска без сохранения заработной платы, необходимое для проезда к месту использования отпуска и обратно.

Неиспользованная часть ежегодного оплачиваемого отпуска, превышающая 6 месяцев, присоединяется к очередному ежегодному оплачиваемому отпуску на следующий год.

По просьбе одного из работающих родителей (опекуна, попечителя) работодатель обязан предоставить ему ежегодный оплачиваемый отпуск или его часть (не менее 14 календарных дней) для сопровождения ребенка в возрасте до 18 лет, поступающего в образовательные учреждения среднего или высшего профессионального образования, расположенные в другой местности. При наличии 2 и более детей отпуск для указанной цели предоставляется 1 раз для каждого ребенка.

## **Заключение**

Эксплуатация Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения производится в условиях Крайнего Севера, что способствует образованию гидратов, способных вызвать осложнения и проблемы в технологических процессах систем сбора и подготовки природного газа.

Для предупреждения гидратообразования на Заполярном месторождении применяется термодинамический ингибитор гидратообразования – метанол.

Исходя из полученных расчетов, метанол является наиболее выгодным ингибитором как с количественной, так и с экономической стороны, в сравнении с хлоридом кальция. Потребность метанола в 5,37 раз меньше, чем хлорида кальция, и в 3,56 раза дешевле.

Несмотря на высокую токсичность и пожароопасность метанола его использование рекомендовано на большинстве месторождений Крайнего Севера, т.к. он обладает высокой технологичностью процесса ввода и распределения метанола в требуемые участки технологической цепочки, имеет наивысшую антигидратную активность, очень низкую температура замерзания, смешиваемость со слабоминерализованной пластовой водой без выпадения твердого осадка, сравнительно низкую растворимость метанола в нестабильном конденсате, некоррозионность метанола и его водных растворов, возможность использования технических сортов метанола, достаточно простые схемы регенерации отработанных растворов.

Если строго соблюдать все требования техники безопасности, то снижается до минимума возможность загрязнения окружающей среды, отравления персонала токсичными испарениями метанола. Однако, не стоит исключать возможности возникновения аварийной ситуации на любом из этапов применения метанола как ингибитора гидратообразования, например, в результате разлива метанола.

На сегодняшний день вопрос о поддержании экологического баланса, безопасности для человека при производстве работ очень важен, поэтому

отечественными учеными разрабатываются, производятся как лабораторные, так и промышленные испытания новых типов ингибиторов гидратообразования – кинетических ингибиторов. Применение данного ингибитора должно привести к сокращению в несколько раз эксплуатационных затрат на предупреждение гидратов (по сравнению с метанолом), повышению уровня экологичности новой технологии (реагенты безвредны для окружающей среды и человека), отсутствию необходимости регенерации отработанных растворов, существенному сокращению затрат на транспорт и хранение ингибиторов.

Месторождения, находящиеся в районах Крайнего Севера, требуют применения новых эффективных и безопасных технологий, поэтому использование на промыслах экологически безопасных химических реагентов является весьма перспективным направлением оптимизации производственного процесса добычи и промысловой подготовки углеводородов.

## Список используемых источников

1. Чухарева Н.В. Определение условий гидратообразования при транспорте природного газа в заданных технологических условиях эксплуатации промысловых трубопроводов. Методические указания / - Издательство НИ ТПУ, 2010. – 30 с.
2. ПАО «Газпром» Заполярное месторождение. Цифры и факты. [Электронный ресурс]; режим доступа: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/zm/> (дата обращения 10.04.2018г.)
3. Кэрролл Дж. Гидраты природного газа: справ. пособие / Пер. с англ. - М.: Премиум Инжиниринг, 2007. – 289 с.
4. Истомин В.А., Квон В.Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. – 506с.
5. Васильев В.Г. Газовые месторождения СССР. Издание второе, дополнительное и переработанное. Изд-во «Недра», 1968г., с.333-334.
6. Баркалова А.М. Особенности строение сеноманской залежи на Заполярном месторождении (ЯНАО). Проблемы геологии и освоения недр. Труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А.Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией. Том I. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015, с.204-206
7. Балашова В.Д., Чернышов И.А., Ковальчук О.Ю. Промысловые испытания экологически безопасного малорасходного ингибитора образования газовых гидратов кинетического действия. Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2018. №1(33). с.243-247, [Электронный ресурс] режим доступа: <http://vesti-gas.ru/sites/default/files/attachments/vgn-1-33-2018-243-247.pdf> (дата обращения 20.05.2018)

8. Мирный М. Метанол 2016 – Итоги отраслевой конференции. Информационно-аналитический портал MPlast.by – Полимеры для всех. [Электронный ресурс] режим доступа: <https://mplast.by/novosti/2016-07-06-metanol-2016-itogi-otraslevoy-konferentsii/> (дата обращения 20.05.2018)
9. Грунвальд А.В. Использование метанола в газовой промышленности в качестве ингибитора гидратообразования и прогноз его потребления в период до 2030 г. – ВНИИГАЗ/Газпром, 2007. – 25с.
10. ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности»
11. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности»
12. ГОСТ 12.4.026 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний»
13. ГОСТ 12.4.051-87 (СТ СЭВ 5803-86) «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования и методы испытаний»
14. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»
15. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
16. ГОСТ 2222-95. «Метанол технический»
17. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
18. «Общие санитарные правила при работе с метанолом» (№ 4132-86 от 18.07.86)
19. ГОСТ 12.4.021-75 «Системы вентиляционные»
20. ГОСТ Р 12.4.013-97 «ССБТ. Очки защитные. Общие технические условия»
21. ГОСТ 20010-93 «Перчатки резиновые технические. Технические условия»



22. ГОСТ 12.4.103-83 «ССБТ. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация»
23. ГОСТ 12.4.121-83 ССБТ. Противогазы промышленные фильтрующие. Технические условия (с Изменением №1)
24. ГОСТ 17.2.3.02-2014 «Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями»
25. «Санитарные правила порядка накопления, транспортирования, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов» (№ 8180-84 от 28.12.84)
26. ГОСТ 10136-77 «Диэтиленгликоль. Технические условия»
27. ГОСТ 12.1.044-89\* «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения»
28. ГОСТ 12.1.004-91\* «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования»
29. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
30. ГОСТ 12.1.010-76\* «Взрывобезопасность. Общие требования»

[Приложение А удалено – содержит коммерческую тайну]