



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

Инженерная школа энергетики

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

НОЦ И.Н. Бутакова

### **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

Тема работы
АСУ производства газового гидрата

УДК 681.5:661.91

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Школа Мария Валерьевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Шлегель Никита Евгеньевич	к.т.н.		

### **КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

### **ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	к.т.н.		

## ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ВЫПУСКНИКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности,

<b>Код компетенции СУОС</b>	<b>Наименование компетенции СУОС</b>
	<b>Универсальные компетенции</b>
	осуществлять метрологическое обеспечение
	<b>Профессиональные компетенции</b>
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП



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

## ЗАДАНИЕ

Инженерная школа энергетика

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Атрошенко Ю.К.  
(Подпись) (Дата) (ФИО)

## ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5Б93	Школа Мария Валерьевна

Тема работы:

АСУ производства газового гидрата	
Утверждена приказом директора ИШЭ	10.02.2023, № 41-34/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><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></p>	<p>Объектом исследования является установка по производству газового гидрата. В качестве компонентов, подаваемых в реактор, используются вода и газ. Гидрат образуется в условиях высокого давления и низкой температуры. Требуемое давление в реакторе создается за счет нагнетания газа, требуемая температура – за счет охлаждения реактора циркулирующим вокруг него по охлаждающей рубашке хладагентом.</p>
<p><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></p>	<p>Введение 1. Исследовательская работа; 2. Проектирование АСУ производства газового гидрата; 3. Расчет параметров настройки регулятора; 4. Разработка SCADA системы для АСУ производства газового гидрата; 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 6. Социальная ответственность; Заключение.</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Схема структурная; 2. Схема функциональная; 3. Схема электрическая соединений; 4. Схема монтажная; 5. Общий вид щита автоматизации; 6. Перечень элементов щита автоматизации.
---	---

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Ст. преподаватель ООД ШБИП, Мезенцева Ирина Леонидовна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.02.2023
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Школа Мария Валерьевна		

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

Инженерная школа энергетики  
 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Уровень образования бакалавриат  
 НОЦ И.Н. Бутакова  
 Период выполнения весенний семестр 2022/2023 учебного года

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б93	Школа Мария Валерьевна

Тема работы:

АСУ производства газового гидрата
-----------------------------------

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

01.06.2023

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.06.23	Пояснительная записка	50
01.06.23	Чертежи	40
01.06.23	Презентационный материал	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	к.т.н.		

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Школа Мария Валерьевна		

## Реферат

Дипломная работа 102 страницы, 19 рисунков, 29 таблиц, 56 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: газ, вода, газовый гидрат, метан, производство, давление, температура, автоматизированная система управления.

Объектом исследования является реактор гидратообразования.

Цель работы – разработка автоматизированной системы управления производства газового гидрата.

В процессе исследования проведен обзор научно-технической литературы, проведен выбор приборов и технических средств автоматизации, составлены структурная и функциональная схемы АСУ, разработаны монтажная схема, электрическая схема соединений и общий вид щита автоматизации, составлены перечень элементов и заказная спецификация.

В результате исследования разработана АСУ производства газового гидрата и построена мнемосхема в программе MasterSCADA.

## Содержание

Введение.....	11
1 Исследовательская работа.....	13
1.1 Описание экспериментального стенда.....	16
1.2 Результаты экспериментов .....	19
2 Проектирование АСУ производства газового гидрата.....	24
2.1 Анализ объекта автоматизации.....	24
2.2 Разработка конструкторской документации.....	28
2.2.1 Разработка структурной схемы АСУ .....	28
2.2.2 Разработка функциональной схемы АСУ.....	28
2.2.3 Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации.....	29
2.2.4 Разработка монтажной схемы внешних проводок.....	41
2.2.5 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления.....	44
3 Расчет параметров настройки регулятора.....	49
3.1 Идентификация объекта управления.....	49
3.2 Расчет параметров настройки регулятора.....	52
4 Разработка SCADA системы для АСУ производства газового гидрата ...	58
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	63
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений .....	63
5.1.2 SWOT-анализ.....	65
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	66
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	66
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	67
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	68
5.3 Бюджет научно-технического исследования.....	71
5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ .....	71

5.3.2	Расчет амортизации специального оборудования .....	71
5.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы.....	74
5.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	75
5.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	76
5.3.6	Накладные расходы.....	76
5.3.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	76
5.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	77
6	Социальная ответственность .....	82
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	82
6.2	Производственная безопасность .....	83
6.2.1	Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения .....	84
6.2.2	Повышенный уровень общей вибрации .....	85
6.2.3	Производственные факторы, связанные с чрезмерно низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать обморожения тканей организма человека .....	86
6.2.4	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник .....	86
6.2.5	Производственные факторы физической природы действия, обусловленные свойствами этих химических веществ воспламеняться, гореть, тлеть, взрываться .....	88
6.3	Экологическая безопасность .....	88
6.3.1	Селитебная зона.....	89
6.3.2	Атмосфера.....	89
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	89
6.5	Выводы по разделу .....	90
	Заключение .....	92

Список использованной литературы.....	93
Приложение А. Социальная ответственность.....	100

Графический материал:

ФЮРА.421000.024 С1

ФЮРА.421000.024 С2

ФЮРА.421000.024 Э4

ФЮРА.421000.024 С4

ФЮРА.421000.024 ВО

На отдельных листах

Схема структурная

Схема функциональная

Схема электрическая соединений

Схема монтажная

Общий вид щита автоматизации

## Введение

Гидраты природного газа представляют собой льдоподобные кристаллические соединения, состоящие из воды и газа [1–4]. Молекулы воды являются молекулами-хозяевами и образуют трехмерную клетку, ограниченную водородными связями. Молекулы газа захватываются в клетке воды в качестве гостей за счет дисперсионных сил Ван-дер-Ваальса, создавая твердое вещество с белым снежно-подобным внешним видом [5].  $\text{CH}_4$  (метан),  $\text{CO}_2$  (двуокись углерода),  $\text{C}_2\text{H}_6$  (этан),  $\text{C}_3\text{H}_8$  (пропан),  $\text{H}_2\text{S}$  (сероводород), азот ( $\text{N}_2$ ) и  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  (бутан) являются одними из наиболее распространенных газов, образующих гидрат.

Процесс создания гидрата требует относительно высоких давлений и низких температур, а конкретные значения в основном связаны с гостевым соединением, участвующим в процессе, и с наличием некоторых добавок, способных действовать как ингибитор или стимулятор процесса образования [6]. В зависимости от формы и размеров каркаса газового гидрата существуют три хорошо известные кристаллические структуры газовых гидратов, известные как структура I (sI), структура II (sII) и структура H (sH) [7].

Газовые гидраты могут использоваться в областях нефтяной промышленности и энергетики. Выбросы от сжигания традиционного топлива (нефть, уголь) представляют угрозу для окружающей среды, загрязняя воздух [8–10], что наносит все больший вред климату, людям, животным и растениям [11,12]. Ущерб окружающей среде, вызванный увеличением антропогенных и парниковых газов, а также изменением климата, стимулировал поиск новых видов топлива [13]. При сжигании газогидратов образуются более низкие выбросы вредных веществ по сравнению с другими видами ископаемого топлива, что может помочь решить некоторые экологические проблемы [14–16]. Газовые гидраты обладают огромным потенциалом, чтобы стать следующей опорой энергетической отрасли.

Используя процесс гидратообразования, извлекают пресную воду из морской, сточной или попутной воды. Было предложено опреснение вымораживанием-плавлением газовых гидратов. Процесс требует низких уровней энергии и температуры с меньшей тенденцией к загрязнению, а также вызывает меньше проблем с коррозией по сравнению с традиционными процессами опреснения [7].

Другим потенциальным применением гидратов является транспортировка природного газа. В настоящее время газ транспортируется по трубопроводам и с помощью танкеров для сжиженного природного газа на большие расстояния. Транспортировка сжиженного природного газа осуществляется при очень низкой температуре, но при давлении, близком к атмосферному. Сжижение природного газа обходится дорого и требует установки для испарения в пункте доставки [17].

Гидраты природного газа в природе встречаются на морском дне или в вечной мерзлоте, где обеспечиваются подходящие условия для образования гидратов [5]. Несмотря на большой потенциал газогидратов как источника энергии, возникают затруднения с их добычей с морского дна [13]. В связи с этим возникает задача разработки быстрых и эффективных способов получения больших объемов газогидратов.

## 1 Исследовательская работа

Существуют следующие способы синтеза газогидратов: основанные на тонком распылении струи воды в газовой атмосфере, интенсивном перемешивании воды, насыщенной газом, вибрационном и ультразвуковом воздействии на жидкость и т.п. При их использовании происходит дробление газовой фазы во всем реакционном сосуде и увеличение количества центров зародышеобразования газогидрата, что приводит к интенсификации гидратообразования.

В [18] описан процесс создания гидрата смеси  $\text{CO}_2$ – $\text{H}_2$ . Был изготовлен реактор из нержавеющей стали 316. Для предотвращения образования вихрей и улучшения перемешивания содержимого реактора использовалась перегородка. Две медно-константановые термопары использовались для измерения температуры жидкости и газа в реакторе. Газ гидратообразующий подавался из расходной емкости в реактор, а давление в реакторе автоматически регулировалось приводом с дозирующим клапаном. Перемешивание содержимого реактора осуществляли с помощью магнитной мешалки, магнитно-связанной с набором вращающихся магнитов, расположенных непосредственно под реактором. Реактор и расходный сосуд были погружены в водяную баню с регулируемой температурой. Использовались газовая смесь, состав которой состоит примерно из 40% смеси  $\text{CO}_2$  и 60%  $\text{H}_2$  при общем давлении 2,5–5,0 МПа, и деионизированная вода.

В [19] описан процесс создания гидрата метана в статических условиях, где для образования гидрата создают только определенные термобарические условия (высокое давление и низкую температуру). Реактор представляет собой горизонтальный цилиндр из нержавеющей стали (SS316), разделенный на две отдельные половины с помощью шарового крана. Первая половина реактора представляет собой зону гидратообразования, предназначенную для работы при высоких давлениях (от 5 до 10 МПа) и используемую для процесса гидратообразования. Вторая половина реактора представляет собой

зону уплотнения гидратов, предназначенную для работы при атмосферном давлении и предназначенную для уплотнения гидратов, образующихся в зоне пласта. Эти гидраты выталкиваются в зону гранулирования с помощью поршня. Шаровой кран остается закрытым во время процесса образования гидрата и открытым во время процесса гранулирования гидрата. Две зоны независимо охлаждаются до соответствующих рабочих температур с помощью внешних ванн с циркулирующей охлаждающей жидкости. Преобразователь давления расположен в зоне гидратообразования и две термопары по одной расположены в зонах гидратообразования и уплотнения гидратов. Были использованы деионизированная вода и метан.

В [20] описан процесс гидратообразования, основанный на взрывном вскипании (в процессе быстрой декомпрессии) сжиженного газогидратообразователя и организации циклического процесса вскипания-конденсации гидратообразующего газа в замкнутом объеме воды. Установка, на которой проводились эксперименты, представляет герметичную камеру в виде параллелепипеда. Данная установка изготовлена из нержавеющей стали с толщиной боковых стенок 15 мм, что позволяет проводить экспериментальные исследования при давлениях до 2 МПа. Два оптических окна (оргстекло толщиной 24 мм) позволяют регистрировать теплофизические и гидродинамические процессы в рабочем объеме по всей высоте рабочего участка. Охлаждение осуществляется через боковые стенки за счет прокачки теплоносителя жидкостным криотермостатом. Нижняя часть установки обогревается нагревательным элементом мощностью 1 кВт. Температуру измеряли тремя датчиками температуры по высоте рабочего участка на расстоянии 40, 170 и 300 мм относительно дна установки. Давление измерялось с помощью датчика давления в газовой секции рабочей зоны. В качестве гидратообразующего газа использован фреон 134а.

Методика эксперимента следующая. Рабочая зона заполнялась водой. Затем через боковые стенки начинается охлаждение рабочего участка, вода охлаждается до температуры 2–6 °С. Далее производится подача газа в

рабочую зону. Поступающий газ начинает конденсироваться на охлаждаемых стенках и затем в виде капель падает вниз, образуя на дне рабочего участка слой сжиженного газа. На этом этапе начинается подача тепла в нижнюю часть рабочей зоны с помощью нагревательного элемента. Варьируя интенсивность нагрева, можно влиять на активность кипения гидратообразующего газа. Образующиеся при кипении пузырьки поднимаются по охлаждаемому объему воды, попадая в зону гидратообразования, в результате чего на их поверхности начинает расти газогидратная оболочка. Поднявшись на поверхность, оболочка разрывается и из нее выделяется газ, создающий избыточное давление в системе. После подъема определенного количества пузырьков в газовом объеме создается достаточное условие для конденсации газа, который в виде капель выпадает на дно рабочего участка и включается в процесс кипения. Этот процесс является циклическим. Весь эксперимент, в ходе которого основная часть гидратообразующего газа превращается в газогидрат, длился не более 1 часа.

В [21] описан процесс создания гидрата метана с помощью «метода избыточного газа». Установка, на которой проводились эксперименты, представляет собой ячейку из нержавеющей стали с жесткими стенками. Внутри гидратной камеры находятся два датчика температуры и датчик давления. Гидратообразующий газ из баллона может быть сжат внутри ячейки до желаемого давления с помощью «газового усилителя». Внутри ячейки также предусмотрена механическая мешалка для взбалтывания воды, что обеспечивает тщательное перемешивание газа, а также способствует образованию гидратов газа на границе раздела газ-вода. Ванна с контролем температуры, в которой охлаждающая жидкость (этиленгликоль) циркулирует внутри кольцевого пространства гидратной ячейки с двойными стенками, помогает регулировать температуру внутри ячейки.

Гидратообразование проводилось следующим образом. Первым шагом было наполнение ячейки известным объемом воды комнатной температуры. После этого ячейку герметизировали и газообразный метан нагнетали до

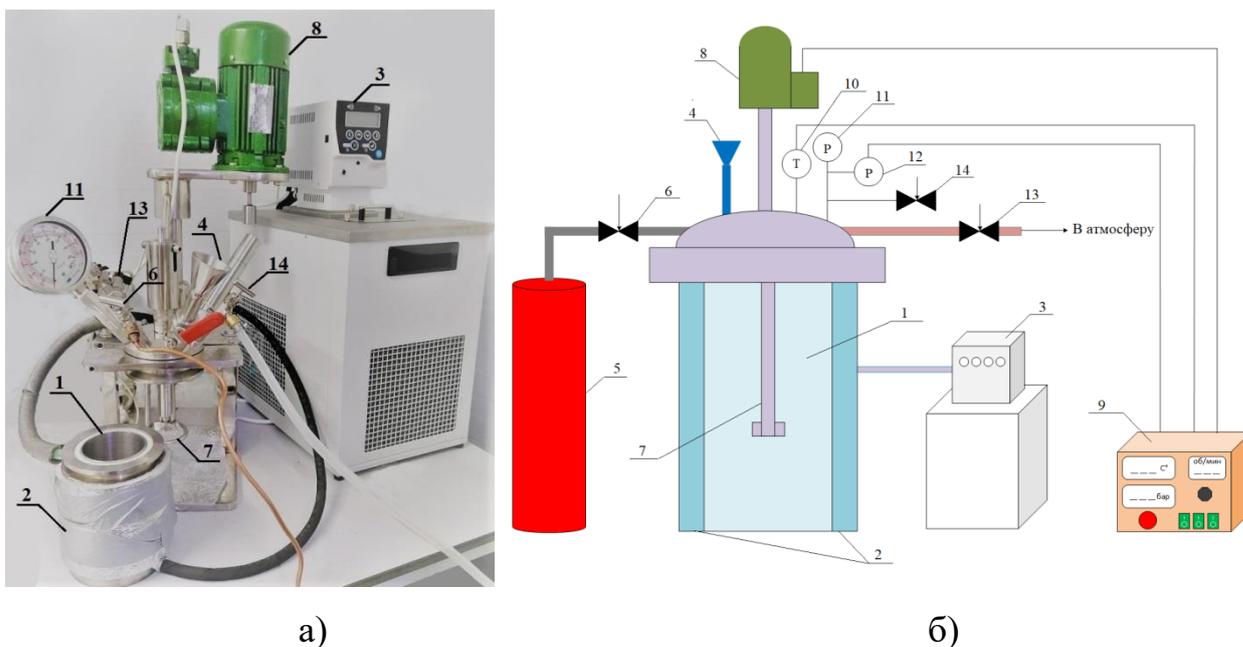
заданного давления с помощью газового бустера. Температуру внутри ячейки снижали ступенчато и регистрировали соответствующий перепад давления. Наличие газообразного метана в водном состоянии в поровых флюидах гидратосодержащих отложений является обязательным, помимо термодинамических условий гидратообразования. Следовательно, процесс образования гидратов не может быть быстрым и может занять несколько часов для их заметного роста.

Целью исследований являлось создание искусственного газового гидрата, определение эффективных условий гидратообразования метана.

### **1.1 Описание экспериментального стенда**

На рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки, которая использовалась для производства гидрата метана. Экспериментальный стенд включал в себя цилиндрический реактор, выполненный из нержавеющей стали марки SS316 (1). Для поддержания необходимой температуры в зоне гидратообразования реактор оснащён водяной рубашкой (2). Температура в реакторе устанавливалась при помощи жидкостного термостата (3) КРИО-ВТ-12-1. Для контроля температуры внутри реактора располагалась термопара (ТЖК(Ж) с температурным диапазоном  $-200...+1200$  °С) в защитной гильзе (10). Контроль давления осуществлялся при помощи показывающего манометра (11) (Wika, 0...250 бар) и датчика давления (Baumer 0...250 бар) (12). В реакторе предусмотрен клапан аварийного сброса давления (14) Avcon, в случае если давление превысит 250 бар. Для подачи воды в реактор использовалась заливная воронка (4). Для подачи газа из газового баллона (5) в реактор использовался штуцер, вмонтированный в крышку реактора, его подача регулировалась с помощью вентиля (6), а, следовательно, и начальное давление в реакторе. Для перемешивания жидкости в реакторе установлена магнитно-перемешивающее устройство (7). С помощью магнитной муфты такое перемешивающее устройство подключалось к электродвигателю (8). Для регулировки частоты вращения магнитной мешалки предусмотрен частотный

регулятор, который позволял варьировать обороты от 0 до 1300 об/мин. Показания температуры, давления и оборотов перемешивающего устройства отображались на блоке управления (9), а также дублировались на персональный компьютер с частотой опроса 0,1 с. Сброс давления в реакторе после завершения гидратообразования производится с помощью вентиля (13).



а) установка; б) схема

1 – реактор, 2 – охлаждающая рубашка, 3 – термостат, 4 – заливная воронка, 5 – газовый баллон, 6 – вентиль подачи газа, 7 – магнитно-перемешивающее устройство, 8 – электродвигатель, 9 – блок управления, 10 – термопара, 11 – показывающий манометр, 12 – датчик давления, 13 – вентиль сброса давления, 14 – клапан аварийного сброса давления

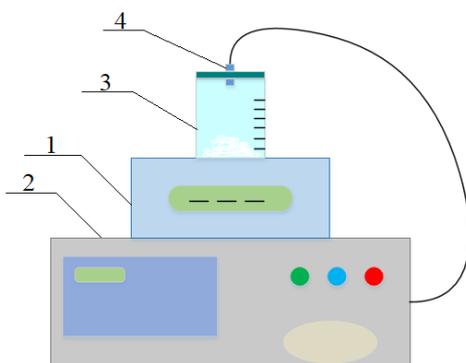
Рисунок 1 – Экспериментальная установка по производству газового гидрата

На первом этапе экспериментальных исследований в реактор заливалась вода объёмом от 150 до 400 мл. Далее выставлялись обороты перемешивающего устройства в диапазоне от 0 до 1300 об/мин. На следующем этапе в реактор подавался метан, до достижения давления около 80 бар. Далее происходил процесс гидратообразования до установления

равновесного состояния газа, после чего полученный гидрат извлекался из реактора.

Для оценки концентрации газа полученного гидрата образцы помещались на весы (1) Demcom в специализированной емкости, к которой подключался газоанализатор (2) Тест-1 (рисунок 2) (электрохимические –  $O_2$  (0...25%,  $\pm 0,2\%$ ),  $SO_2$  (0...1000 ppm,  $\pm 5\%$ ),  $NO$  (0...2000 ppm,  $\pm 5\%$ ),  $NO_2$  (0...500 ppm,  $\pm 7\%$ ),  $H_2S$  (0...500 ppm,  $\pm 5\%$ ); оптические –  $CO_2$  (0...30%,  $\pm 2\%$ ),  $CH_4$  (0...50%,  $\pm 5\%$ ),  $CO$  (0...50%,  $\pm 5\%$ ),  $H_2$  (0...30%,  $\pm 5\%$ )). Анализ полученных концентраций газов осуществлялся при помощи программного обеспечения specialized Test software. Расчет средних значений концентраций газов проводился методом трапеций. Компонентный состав гидрата метана: 86...87 % воды, 13...14 % метана. Размер частиц гидратного порошка составлял 0,3...0,5 мм.

Перед началом взвешивания образцов определялась масса специализированной емкости (3), на которую нанесена шкала с насечками шагом 0,5 мм. Затем банку соединяли через штуцер (4), вмонтированный в крышку, с газоанализатором. Образец газового гидрата помещали в банку и фиксировали высоту слоя. Затем банку вместе с содержимым ставили на весы и измеряли массу гидрата. Газовый гидрат постепенно диссоциировал.



1 – весы; 2 – газоанализатор; 3 – специализированная емкость; 4 – штуцер  
подключения газоанализатора

Рисунок 2 – Схема экспериментального стенда для обработки результатов

## 1.2 Результаты экспериментов

Были проведены экспериментальные исследования по синтезированию гидрата метана в реакторе при начальном объеме воды около 125 мл и неизменных оборотах магнитно-перемешивающего устройства около 1100 об/мин. Анализ экспериментальных данных позволил установить ряд закономерностей. На первом этапе синтеза происходит загрузка реактора водой, после чего подается метан до тех пор, пока в реакторе не установится давление около 80 бар.

На рисунке 3 приведена зависимость давления в реакторе от времени. Анализ такой зависимости показал, что на первом этапе гидратообразование происходит не активно, о чем свидетельствует снижение давления в реакторе за 10 мин. После происходит достаточно резкий перепад давления, который составляет около 7 бар, что свидетельствует о начале интенсивной фазы гидратообразования, такая фаза продолжалась в течение 25 мин. На следующем этапе синтеза гидрата метана процесс гидратообразования протекал медленнее. Такой эффект связан с тем, что большая часть воды перешла в гидрат. Для достижения полного гидратообразования эксперимент продолжался до установления в реакторе равновесного давления метана, которое составило 25,1 бар. Процесс гидратообразования отчетливо наблюдался при анализе зависимости температуры в реакторе от времени (рисунок 4).

Установлено, что процесс роста кристаллов гидрата метана можно разделить на несколько этапов, о чем свидетельствуют перепады давления и температуры в реакторе. Первый этап представляет собой не активный рост гидратов на поверхности теплообмена, т.е. стенках реактора. При интенсивном перемешивании жидкости поверхность теплообмена увеличивается за счет разбрызгивания ее по стенкам реактора. На первом этапе происходит рост кристаллов гидрата в верхней части реактора, что приводит к небольшому перепаду температуры около 2 °С и равномерному снижению давления в течение 10 мин. При этом анализ зависимости

температуры от времени показал, что рост гидратов не равномерен и присутствуют всплески температур. Такой эффект объясняется тем, что первая порция гидрата выросла и отошла от стенки реактора, а за счёт интенсивного перемешивания образовалась жидкостная пленка на стенке, что и привело к росту новых гидратов, тем самым наблюдался второй перепад температуры в первой неактивной фазе гидратообразования. Следующая фаза роста гидратов являлась активной, о чем свидетельствуют зависимости, представленные на рисунках 3,4. В данной фазе рост гидратов происходил практически во всем объёме реактора, т.е. на всех поверхностях теплообмена, а именно на стенках ректора и перемешивающего механизма. При такой фазе гидратообразования процесс протекал интенсивнее на 30...40 %, а следовательно, снижение температуры и давления происходило за меньшее время. При снижении давления до значений близких к равновесному состоянию метана наступала вторая неактивная фаза. Образование гидрата в данной фазе протекало неактивно, а именно за счет перемешивания, т.е. образованный гидрат поднимался вверх, а оставшаяся вода на дне реактора принимала газ, и тем самым происходил рост гидрата в нижней части реактора.

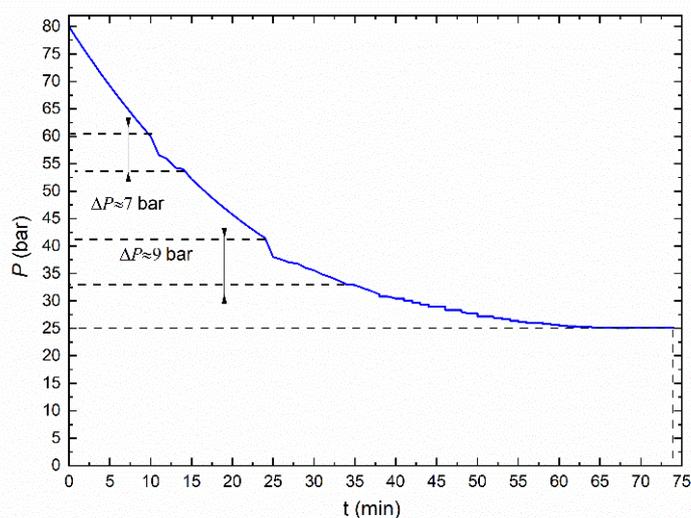


Рисунок 3 – Зависимости изменения давления в процессе гидратообразования ( $\text{CH}_4$ ) при постоянном перемешивании (1100 об/мин, 125 мл воды).

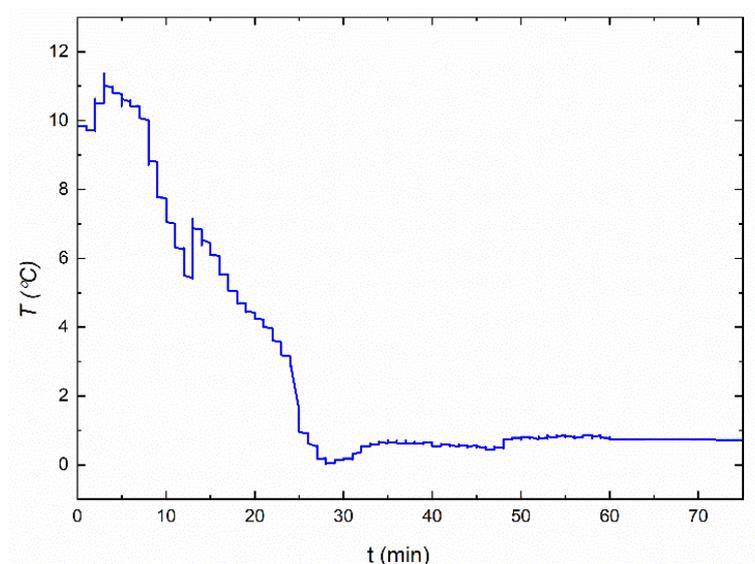


Рисунок 4 – Зависимости изменения температуры в процессе гидратообразования ( $\text{CH}_4$ ) при постоянном перемешивании (1100 об/мин, 125 мл воды).

Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать заключение о протекании процесса роста гидрата метана в реакторе. Процесс синтеза гидрата протекал в три фазы. Первая фаза представляла собой не пассивный рост гидратов в верхней части реактора, далее протекала вторая активная фаза в верхней и средней части реактора. Заключительным этапом гидратообразования являлся третий этап, который представлял собой пассивный рост гидратов в нижней части реактора.

Были проведены экспериментальные исследования при фиксированном начальном объеме воды в реакторе около 125 мл. На рисунке 5 представлена зависимость давления в реакторе при синтезировании гидрата метана от времени. На рисунке 6 представлена зависимость температуры в реакторе при синтезировании гидрата метана от времени. Установлено, что, чем интенсивнее перемешивание (1100 об/мин), тем быстрее происходит гидратообразование. Одной из наиболее важных отличительных особенностей синтеза гидрата  $\text{CH}_4$  является то, что при низких оборотах примешивающего устройства (около 350 об/мин) отсутствуют характерные перепады давления в зависимости от фаз приготовления. Рост кристаллов

гидрата метана начинается с растворения газа в воде, и образования насыщенного газового раствора. При дальнейшем охлаждении и перемешивании раствор разбрызгивается по стенкам и за счет теплообмена происходит рост кристаллов гидрата, т.е. кристаллы растут на пленке жидкости.

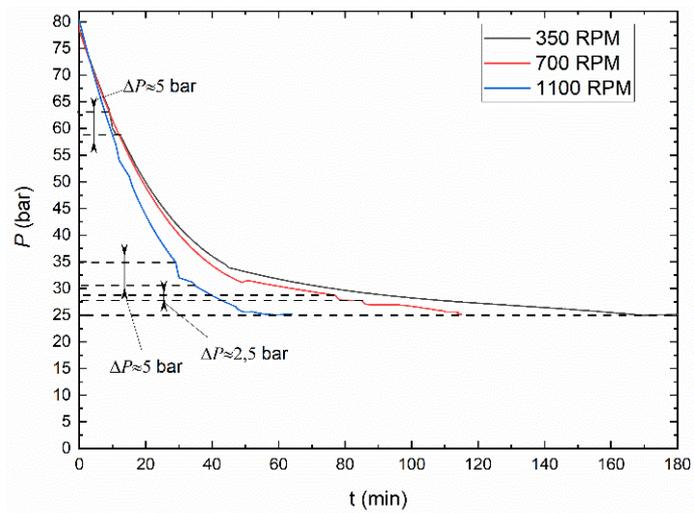


Рисунок 5 – Зависимости изменения давления в процессе гидратообразования метана при варьировании частоты перемешивания (125 мл воды).

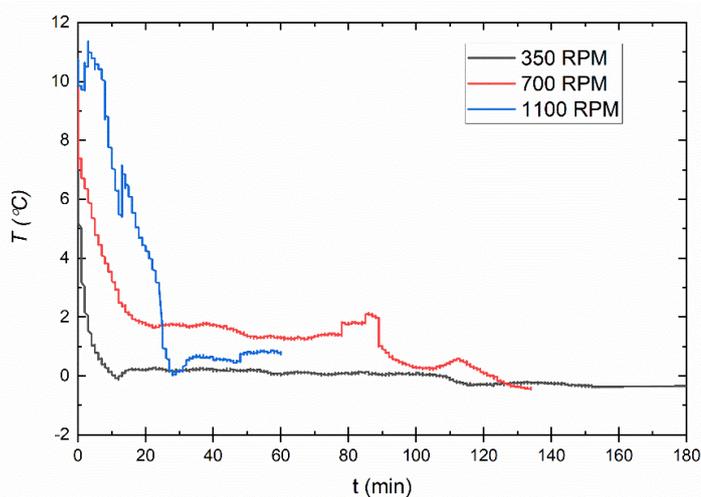


Рисунок 6 – Зависимости изменения температуры в процессе гидратообразования метана при варьировании частоты перемешивания (125 мл воды).

Анализ проведенных исследований позволил установить, что, чем выше обороты перемешивающего устройства, тем ниже время гидратообразования. Так, например, при 350 об/мин гидрат метана образуется за 250 минут, а при 1100 об/мин за 80 минут. Так же установлено, что средние размеры гранул гидрата метана снижаются при увеличении скорости перемешивания в реакторе с 1,7 до 0,1 мм. Анализ экспериментальных данных синтеза гидрата метана позволил сформулировать заключение об эффективных оборотах перемешивающего устройства для роста кристаллов гидрата. 1100 об/мин позволяют снизить время гидратообразования в 3...4 раза, а также и размер гранул в 10...15 раз.

## 2 Проектирование АСУ производства газового гидрата

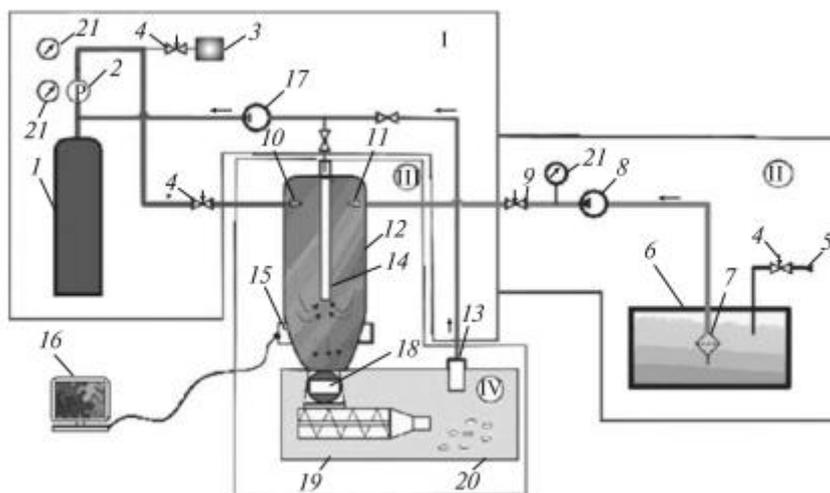
### 2.1 Анализ объекта автоматизации

Объектом автоматизации является установка по созданию искусственного газового гидрата. В ней реализуются следующие процессы: подача газа и воды в реактор, создание условий образования гидрата (высокое давление и низкая температура), поддержание вышеуказанных параметров. Найденные аналогичные объекты автоматизации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ объектов автоматизации

Источника	Авторы	Преимущества	Недостатки
Установка для получения газовых гидратов [22].	К.Б. Комиссаров, В.А. Финоченко.	Высокая скорость гидратообразования.	Установка имеет конструктивно сложное технологическое оборудование в виде создания вибрации.
Установка для производства гидрата [23].	М.С. Власкин, А.О. Дудолодов, А.З. Жук.	Возвращение неиспользованной воды в обратную систему.	Установка имеет конструктивно сложное технологическое оборудование в виде реактора, разделённого на смесительную камеру, камеру предварительного охлаждения, камеру сбора стеклообразного газового гидрата метана.
Установка для производства гидрата [24]	В.И. Бондаренко, Е.О. Максимова, М.П. Овчинников.	Высокая скорость образования газовых гидратов. Простота конструкции. Не требует больших затрат.	-

Из вышеперечисленных объектов лучшим является последний, так как не имеет минусов, он и будет использоваться в качестве объекта автоматизации. Схема его устройства представлена на рисунке 7.



I – газовый блок; II – блок подготовки и подачи воды; III – блок процесса гидратообразования; IV – блок прессования и готовой продукции;

1 – газовый баллон; 2 – редуктор давления газа с ротаметром; 3 – газоанализатор; 4 – вентили; 5 – ввод воды; 6 – бак для воды; 7 – водяной фильтр; 8 – водяной насос; 9 – задвижка; 10 – штуцер ввода газа; 11 – форсунка высокого давления воды; 12 – реактор; 13 – вывод газа, выделяемого из образцов; 14 – трубка вывода газа, который не прореагировал; 15 – окно для наблюдений; 16 – видеокамера и компьютер; 17 — компрессор; 18 – дозирующее устройство; 19 – шнек; 20 – камера хранения образцов газовых гидратов; 21 – манометры.

Рисунок 7 – Технологическая схема производства искусственных газовых гидратов

Установка состоит из четырех блоков. Блоки I и II под атмосферным давлением и при комнатной температуре. В Блоке III поддерживается температура 0...3 °С. Блок IV – это морозильная термокамера с температурой от -15 до -20 °С [25].

Из блока I к блоку III (реактор) газ подается под давлением не менее 5 МПа. Одновременно из блока II насосом 8 вода под давлением не менее 6

МПа подается из бака 6, проходя через фильтр 7. Форсунка распыляет воду до мелкодисперсного состояния. Штуцер газа 10 расположен так, чтобы газовый поток поступал в реактор касательно (для закручивания смеси в циклоне). Реактор гидратообразования III – это разъемная конструкция, выдерживающая давление до 10 МПа. В реактор гидратообразования 12 по касательной к его стенкам поступает метан из газового баллона 1 через штуцер ввода газа 10, и вода через форсунку высокого давления 11.

В реакторе 12 газовый поток закручивается и смешивается с тонко распыленной водой. Подача воды регулируется так, чтобы не было избытка воды. Вода и газ образуют водно-газовую смесь, заполняющую пространство реактора, из которой при заданном давлении и температуре образуется газовый гидрат. Давление всей системы постоянно контролируется манометрами 21. Сбоку реактор имеет окно для наблюдений 15, видеокамеру и компьютер 16. Образованная гидратная масса собирается в нижней части реактора и поступает в герметически дозирующее устройство 18, далее прессуется шнеком 19 и перемещается в морозильную термокамеру для хранения образцов 20.

Установка по созданию газового гидрата основана на ручном управлении, но в данной работе будет проведена ее автоматизация. В установке не будет газоанализатора, так как гидрат будет производиться только из метана, а не из смеси газов; также будут отсутствовать окно для наблюдений; видеокамера и компьютер; камера хранения образцов газовых гидратов; канал вывода газа, выделяемого из образцов; дозирующее устройство.

Регулируемые параметры:

- давление в реакторе (5...10 МПа);
- температура в реакторе (0...-10°C).

Контролируемые параметры:

- давление подаваемого в реактор газа (5 ... 10 МПа);
- давление подаваемой в реактор воды (1 ... 3 МПа);

- расход подаваемого в реактор газа (12...15 л/мин);
- расход подаваемой в реактор воды (80...100 л/мин);
- расход охлаждающей жидкости (4...6 л/мин);
- температура прямой сети охлаждающей рубашки (-15...-20°C);
- температура обратной сети охлаждающей рубашки (-10...-15°C).

Регулирующие воздействия для регулирования давления в реакторе:

- давление и расход газа регулируется задвижкой с электроприводом;
- сброс давления в реакторе происходит за счёт отвода газа с помощью задвижки с электроприводом.

Регулирующие воздействия для регулирования температуры в реакторе:

- температура в реакторе изменяется за счет регулирования расхода теплоносителя в охлаждающей рубашке.

Возмущающие воздействия на давление и температуру в реакторе:

- температура окружающей среды;
- чистота газа и воды, подаваемых в реактор.

Давление в системе измеряется датчиком давления, температура – термопреобразователями сопротивления, расход – дифференциальными датчиками давления.

## **2.2 Разработка конструкторской документации**

### **2.2.1 Разработка структурной схемы АСУ**

Структурная схема АСУ производства газового гидрата представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.024 С1.

При производстве искусственного газового гидрата необходимо регулировать давление и температуру в реакторе. Для измерения температуры в реакторе используется термопреобразователь сопротивления, в который встроен нормирующий преобразователь, передающий информацию в виде унифицированного токового сигнала на ПЛК. Показания давления в реакторе передаются на ПЛК в виде унифицированного токового сигнала с помощью датчика давления. Температура в реакторе регулируется за счет расхода охлаждающей жидкости, а давление – за счет нагнетания в реактор газа. Одновременно с информацией о значениях температуры и давления в реакторе на ПЛК поступает информация о расходах охлаждающей жидкости, газа и воды, а также о давлениях газа и воды. ПЛК обрабатывает полученную информацию и выдает управляющее воздействие на электроприводы, которые приводят к изменению положения задвижек, расположенных на трубопроводах подачи охлаждающей жидкости и газа.

### **2.2.2 Разработка функциональной схемы АСУ**

Функциональная схема АСУ производства газового гидрата представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.024 С2.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в виде контуров, упрощённых до такой степени, которая позволяет показать как взаимосвязь отдельных частей технологической цепи, так и принцип её действия, а также взаимодействие с датчиками и другими техническими средствами системы автоматизации.

На данном этапе были определены измерительные каналы (1-9, 12,14, 16, 18, 20), каналы регулирования (10,11,19) и канал управления (13,15,17). Измерительный канал 1 служит для передачи сигнала о величине температуры в реакторе, 2 и 3 – о температуре в прямой и обратной сети

охлаждающей рубашки соответственно. Датчиками температуры служат термопреобразователи сопротивления. Измерительные каналы 4 и 6 передают информацию о значении давления газа (4 канал) и воды (6 канал), 5 канал – о давлении в реакторе. Расход измеряется 7-ым (газ), 8-ым (вода) и 9-ым (антифриз) каналами с помощью преобразователей разности давлений. Все датчики передают информацию на контроллер в виде унифицированного токового сигнала 4...20 мА. По каналам 10,11,13,15,17,19 передаются управляющие сигналы на насос и электроприводы, а каналы 12,14,16,18,20 используются для определения положения задвижек и шнека.

### **2.2.3 Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации**

#### **2.2.3.1 Выбор датчиков температуры для реактора**

Для измерения температуры в реакторе используется термопреобразователь сопротивления. Температура в реакторе изменяется в пределах от 0 °С до -10 °С. Необходимо использовать датчик взрывозащищенного исполнения, так как газ взрывоопасный. Рассмотрим две компании по производству технических средств автоматизации «Метран» и «Овен».

ДТСхх5Д.И предназначены для измерения температуры жидкостей, пара, газа на объектах и преобразования полученных значений в унифицированный токовый сигнал 4...20 мА. Среда измерения: взрывоопасные смеси газов, паров, а также легковоспламеняющихся и взрывчатых веществ. Датчики имеют взрывозащищенное исполнение (сертификат соответствия №ЕАЭС RU C-RU.АА87.В.01016/22 на термометры сопротивления). Взрывозащита корпуса датчика 1Ex db IIC T6...T1 Gb X [26].

Расшифровка датчика ДТС065Д-РТ100.0,25.100.МГ.И.ЕХD-Т6 [12]: термометр сопротивления платиновый Pt100, модель 065, класс точности 0,25 %, длина монтажной части 100 мм, МГ – металлическая головка,

взрывозащищенное исполнение (взрывонепроницаемая оболочка 1Ex db IIC T6...T1 Gb X), диапазон преобразования температур: -50... +100 °С.

Датчики Метран-274-EXD предназначены для измерения температуры нейтральных и агрессивных сред, по отношению к которым материал защитной арматуры является коррозионностойким. Чувствительный элемент первичного преобразователя и встроенный в головку датчика измерительный преобразователь преобразуют измеряемую температуру в унифицированный токовый сигнал, что дает возможность построения АСУТП без применения дополнительных нормирующих преобразователей. Взрывозащита корпуса датчика 1ExdIICT5 [27].

В таблице 2 представлены технические характеристики термопреобразователей сопротивления Метран-274-EXD, Овен ДТС065Д-РТ100.0,25.100.МГ.И.ЕХD-Т6 [12].

Таблица 2 – Технические характеристики ТПС для реактора

Характеристики	Величина	
	Метран-274-EXD	Овен ДТС065Д-РТ100.0,25.100.МГ.И.ЕХD-Т6 [12]
Выходное значение	4...20 мА	4...20 мА
НСХ	50 М	РТ100
Диапазон измеряемых температур	-50...+180 °С	-50...+100 °С
Класс точности	0,5	0,25
Длина монтажной части	100 мм	100 мм
Средний срок службы	8 лет	8 лет
Цена	От 23700 руб.	От 16200 руб.

Технические характеристики данных ТПС примерно схожи и удовлетворяют условиям, в которых будут использованы, однако, Овен ДТС065Д-РТ100.0,25.100.МГ.И.ЕХD-Т6 [12] дешевле и имеет более высокий класс точности, выберем его.

### 2.2.3.2 Выбор датчиков давления

В разрабатываемой автоматизированной системе управления производства газового гидрата датчики давления используются в

трубопроводе подачи газа, трубопроводе подачи воды и в реакторе гидратообразования. Для реактора и трубопровода подачи газа требуются датчики с диапазоном измерения не менее 10 МПа, также необходимо использовать датчики взрывозащищенных исполнений, так как газ взрывоопасный. Для трубопровода подачи воды требуются датчики с диапазоном измерения не менее 3 МПа. Рассмотрим две компании по производству технических средств автоматизации «Метран» и «Овен».

Датчики ОВЕН ПД100 обеспечивают преобразование измеряемого давления нейтральных и неагрессивных сред в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА [28].

Датчик ПД100-ДИ16,0-115-0,5-EXD имеет «полевой» корпус с взрывозащитой типа «Взрывонепроницаемая оболочка» 1Ex dII CT6 Gb. Преобразователи давления ПД100-EXD предназначены для систем автоматического регулирования и управления в промышленности на основных и вторичных производствах, расположенных в сложных климатических и иных условиях, требующих применения оборудования в «полевом» корпусе: газотранспортных и газораспределительных системах, нефтепромыслах, объектах транспортировки нефти, НПЗ, объектах энергетики. Среда измерения: газ, пар, вода, слабоагрессивные жидкости, нейтральные к нержавеющей стали AISI 316L (AISI 304S). Среднее время наработки на отказ такого датчика не менее 500000 ч.

Датчики Метран-150 обеспечивают непрерывное преобразование давления в аналоговый выходной сигнал постоянного тока. Рабочие среды: жидкость, пар, газ [29].

Взрывозащищённые датчики Метран-150-Exd соответствуют требованиям ГОСТ 31610.0, 5 ГОСТ ИЕС 60079-1 и выполняются с уровнем взрывозащиты «взрывобезопасный» с маркировкой по взрывозащите «1Ex db IIС Т6...Т5 Gb X». Среднее время наработки на отказ такого датчика 150 000 ч.

В таблице 3 представлены технические характеристики датчиков давления Метран-150TG- EXD, Овен ПД100-ДИ16,0-115-0,5-EXD, ПД100-ДИ10,0-111-0,5.

Таблица 3 – Технические характеристики датчиков давления

Характеристики	Величина		
	Метран-150TG-EXD	ПД100-ДИ16,0-115-0,5-EXD	ПД100-ДИ10,0-111-0,5
Диапазон унифицированного сигнала	4...20 мА, 0...5 мА	4...20 мА	4...20 мА
Верхний предел измерений	16 (25) МПа	16 МПа	10МПа
Класс точности	0,5	0,5	0,5
Диапазон температур измеряемой среды	-40...+80 °С	-40...+100 °С	-40...+100 °С
Наработка на отказ	150000ч	500000ч	500000ч
Допустимое напряжение питания	12...42 В	12...36 В	12...36 В
Цена	от 35000 руб.	от 8160 руб.	от 8160 руб.

Технические характеристики измерительных преобразователей давления примерно схожи и удовлетворяют условиям, в которых будут использованы, однако, цена датчика «Овен» меньше, его время наработки на отказ больше, поэтому для измерения давления в реакторе и трубопроводе подачи газа выберем его. А для измерения давления в трубопроводе подачи воды выберем датчик той же компании и со схожими характеристиками, но с меньшим предельным значением давления. Так как давление в трубопроводе не должно превышать 3 МПа, выберем датчик ПД100-ДИ10,0-111-0,5, рассчитанным на 10 МПа.

### 2.2.3.3 Выбор датчиков температуры для охлаждающей рубашки

Для охлаждения реактора используется охлаждающая рубашка, по которой циркулирует антифриз. Для измерения температуры антифриза в прямой и обратной сети используются термопреобразователи сопротивления.

Диаметр трубопроводов 50 мм, поэтому необходимо подобрать датчики с подходящей длиной монтажной части. Для ТПС требуется специальная защитная гильза. Рассмотрим две компании по производству технических средств автоматизации «Метран» и «Овен».

Датчики Овен ДТСхх4 с кабельным выводом служат для измерения температур твердых, жидких и газообразных сред. Для монтажа датчиков ДТСхх4 со штуцером на объекты рекомендуется применять гильзы ГЗ.16 и ГЗ.25, бобышки Б.П.1 и Б.У.1, которые также имеются в каталоге Овен [30].

Расшифровка датчика ДТС214-50М.ВЗ.30/1: термопреобразователь сопротивления медный 50М, модель 214, класс допуска В, с трехпроводной схемой соединений, длиной монтажной части 30 мм, длиной кабельного вывода 1 м, диапазон измерения: -50...+150 °С.

Датчики Метран 2000 – термопреобразователи сопротивления, предназначенные для измерения температур твердых, жидких и газообразных сред. Имеют следующие НСХ: 50М; 100М; 100П, Pt100. Датчик помещен в защитную гильзу. Длина монтажной части датчика от 60 мм до 3150 мм [31].

В таблице 4 представлены технические характеристики термопреобразователя сопротивления ДТС214-50М.ВЗ.30/1, Метран 2000.

Таблица 4 – Технические характеристики ТПС для охлаждающей рубашки

Характеристики	ДТС214-50М.ВЗ.30/1	Метран 2000
	Величина	
Выходное значение	R, Ом	R, Ом
НСХ	50 М	50 М
Класс допуска	В	В
Диапазон измеряемых температур	-50...+150 °С	-50...+120 °С
Длина монтажной части	30 мм	60 мм
Средний срок службы	10 лет	8 лет
Цена	От 756 руб.	От 3500 руб.

ТПС ДТС214-50М.ВЗ.30/1 имеет подходящую длину монтажной части. Также он дешевле и имеет большой срок службы, по сравнению с Метран

2000. Так как в оба датчика не встроен нормирующий преобразователь для передачи информации на ПЛК в виде унифицированного токового сигнала, требуется преобразователь. Был выбран преобразователь измерительный разделительный с термометров сопротивления ЕТ-322 компании ЭлеСи. Он имеет 2 входа, необходимых для двух использующихся ТПС.

#### 2.2.3.4 Выбор сужающего устройства

Для измерения расходов на трубопроводе подачи газа, трубопроводе подачи воды и трубопроводе подачи охлаждающей жидкости используются датчики дифференциального давления. Для создания разности давлений необходимо использовать сужающее устройство. Газ подается с высоким давлением, поэтому следует выбрать устройство, выдерживающее не менее 10 МПа. В качестве сужающего устройства будет использована диафрагма, так как небольшие потери давления и напора не значительны для данного процесса, к тому же диафрагма дешевле других сужающих устройств.

Диафрагма – это тонкий металлический диск с центральным круглым отверстием.

ДКС – камерная диафрагма, устанавливаемая во фланцах измерительного трубопровода, на условное давление до 10 МПа с условным проходом от 50 до 500 мм. Способ отбора давления – угловой с кольцевыми щелями.

ДВС - диафрагма, устанавливаемая непосредственно во фланцах, снабженных кольцевыми камерами, на условное давление до 32 МПа с условным проходом от 50 до 400 мм. Способ отбора давления – угловой [32]. В таблице 5 представлены технические характеристики диафрагм

Таблица 5 – Технические характеристики диафрагм

Название параметров	Типы диафрагм	
	ДКС	ДВС
Условное давление, МПа	0,6;10	32
Номинальный диаметр, мм	50...500	50...400

ДВС подходит для высокого давления, выберем её для трубопровода подачи газа, а именно диафрагму ДВС-32-50-Б. ДКС подходит для канала подачи воды и антифриза, выберем диафрагму ДКС 10-50.

### **2.2.3.5 Выбор датчика дифференциального давления для измерения расхода**

Принцип работы датчика дифференциального давления заключается в том, что в трубопроводе создается препятствие потоку с помощью сужающего устройства, в этом случае диафрагмы. Давление потока жидкости или газа перед сужением возрастает, а сразу за ним оно понижается. Чем больше расход среды, протекающей через трубопровод, тем больше разница давлений.

На канал подачи газа требуется датчик с предельным значением давления не менее 10 МПа, также он должен быть взрывозащищенного исполнения, так как газ взрывоопасный. Рассмотрим компанию по производству технических средств автоматизации «Элемер».

Измерительные преобразователи САПФИР-22 предназначены для преобразования избыточного давления, разрежения, абсолютного давления или разности давлений жидкостей и газов в унифицированный токовый выходной сигнал в системах автоматического управления технологическими процессами, в том числе и взрывоопасных производств. Преобразователи САПФИР-22-Ех-М имеют исполнение взрывозащищенное с видом взрывозащиты “искробезопасная электрическая цепь “ia” и уровнем взрывозащиты “особовзрывобезопасный” (О) [33].

Датчики давления «ЭЛЕМЕР-100» предназначены для измерения и преобразования значений избыточного давления, давления разрежения, абсолютного давления, разности давлений и гидростатического давления (уровня) жидких и газообразных в унифицированный выходной токовый сигнал. Датчик ЭЛЕМЕР-100Ех-ДД взрывозащищенного исполнения с видом взрывозащиты искробезопасная цепь уровня «b» [34].

В таблице 6 представлены технические характеристики преобразователей перепада давления ЭЛЕМЕР-100Ех-ДД, САПФИР-22-Ех-М модель 2460.

Таблица 6 – Технические характеристики преобразователей перепада давления

Характеристики	Величина	
	ЭЛЕМЕР-100Ех-ДД	САПФИР-22-Ех-М-2460
Выходное значение	4...20мА, 0...5мА	4...20мА, 0...5мА
Верхний предел измерений	16 МПа	16 МПа
Класс точности	0,25	0,15
Диапазон температур измеряемой среды	-40...+70 °С	-40...+70 °С
Средний срок службы	10 лет	12 лет
Допустимое напряжение питания	24...36 В	24...36 В
Цена	от 35000 руб.	от 35000 руб.

Технические характеристики данных измерительных преобразователей давления примерно схожи и подходят по условиям, в которых будут использованы, однако, срок эксплуатации датчика «САПФИР» больше и он имеет более высокий класс точности, выберем его.

### 2.2.3.6 Выбор задвижки

Для регулирования расхода газа и антифриза используются задвижки с электроприводом. Так как в трубопроводе подачи газа давление может достигать до 100 бар, необходимо подобрать задвижку с максимальным давлением среды не менее 100 бар. Диаметр трубопроводов 50 мм. Рассмотрим две задвижки 31с945нж Муромского завода и 30с941нж Челнинского арматурного завода. После завершения процесса гидратообразования при открытии задвижки гидрат подается на шнек, необходимо подобрать задвижку с максимальным давлением среды не менее 100 бар, так как верхний предел давления в реакторе 100 бар. Рассмотрим шиберные задвижки АВРА KV-01 и СМО-А.

Задвижка 31с945нж – задвижка стальная клиновья с выдвжжым штоком под электропривод. Задвижка рассчитана на 160 бар, диаметр трубопровода от 50 до 250 мм. Транспортируемая среда: вода, газ, пар, промышленные жидкости, теплоноситель, нефтепродукты, масла [35].

Задвижка 30с941нж – трубопроводная арматуры запорного типа с выдвжжым шпинделем и фланцевым присоединением. Способ управления – под электропривод/редуктор. Транспортируемая среда: вода, пар, газ, жидкие неагрессивные нефтепродукты и нефть. Температура рабочей среды от -40°С до +450°С. Диаметр трубопровода от 50 до 500 мм [36].

Основным механизмом задвижки шиберной является стальная пластина со штоком. Запорный механизм движется по направляющим в корпусе задвижки и перекрывает поток. Задвижка шиберная АВРА-KV-01 является специальной арматурой, используемой в довольно суровых и жестких условиях. Задвижки шиберные АВРА-KV-01 применяются для полного закрытия или открытия потока среды, т.е. являются запорной арматурой [37].

Шиберные задвижки СМО серии А предназначены для работы с твердыми частицами. Область применения: химические и нефтехимические предприятия, горнодобывающая промышленность, целлюлозно-бумажная промышленность, пищевая промышленность и другие отрасли [38].

Технические характеристики задвижек 31с945нж, 30с941нж, АВРА KV-01 и СМО представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики задвижек

Характеристика	31с945нж	30с941нж	АВРА KV-01	СМО-А
	Величина			
Условный диаметр	50...250 мм	50...500 мм	50...400 мм	50...1200 мм
Давление	160 бар	16 бар	160 бар	10 бар
Температурный диапазон	-40...+425 °С	-40...+425 °С	-40...+425 °С	-40...+425 °С
Привод	Тип посадочного фланца Б	АС 380В	ГЗ-А	АУМА
Цена	От 48600 руб.	От 66287 руб.	От 64280	От 247510

Задвижки 31с945нж и 30с941нж удовлетворяют температурным условиям использования в канале подачи антифриза в охлаждающую рубашку. Предельное значение давления задвижки 31с945нж удовлетворяет условиям подачи газа в реактор, к тому же её цена ниже, чем задвижки 30с941нж. Выберем задвижку 31с945нж. Задвижки BRA KV-01 и СМО-А со встроенными электроприводами, но задвижка АВРА KV-01 удовлетворяет условиям использования, а именно высокому давлению, к тому же она намного дешевле задвижки СМО-А. Выберем задвижку АВРА KV-01 для подачи гидрата на шнек.

### **2.2.3.7 Выбор насоса**

Для управления расходом и давлением в трубопроводе подачи воды используется насос с частотным регулятором. Рассмотрим две компании по производству насосов «Comet» и «Wilo»

Comet – мембранно-поршневые насосы полугидравлического типа работы, предназначены для работы с жидкостями с максимальной температурой окружающей среды 40°C [39].

Поршневой шести плунжерный насос высокого давления Comet YA 150 предназначен для перекачивания воды в промышленных и противопожарных установках. В своем составе имеет 6 керамических поршней и частотный регулятор.

Wilo BL-E 100/200-5,5/4-R1 – блочный насосный агрегат с соединительным элементом фланцевого типа. Электродвигатель привода оснащен автоматическим регулятором частоты вращения. Предназначен для перекачки воды или гликолевых теплоносителей с содержанием гликоля до 40%. Наличие твердых примесей в рабочей среде не допускается. Насосы используют в системах обогрева, охлаждения и кондиционирования [40].

Технические характеристики насосов Comet YA 150 и WILO CRONOBLOC BL-E 100/200-5,5/4-R1 представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики насосов

Характеристика	Comet YA 150	WILO CRONOBLOC BL-E 100/200-5,5/4-R1
	Величина	
Производительность по воде	136 л/мин	180 л/мин
Номинальная мощность	15 кВт	5,5 кВт
Максимальное давление воды	50 бар	16 бар
Скорость вращения вала	650 об/мин	1450 об/мин
Частотный преобразователь	Встроен	Встроен
Цена	От 192000 руб.	От 163000 руб.

У насоса Comet YA 150 предельное значение давления больше, чем у насоса WILO CRONOBLOC BL-E 100/200-5,5/4-R1. Так как давление в трубопроводе подачи воды может составлять 30 бар, то необходим насос с предельным значением давления среды не менее 30 бар. Поэтому выберем насос Comet YA 150.

В таблице 9 представлены характеристики частотного преобразователя.

Таблица 9 – Технические характеристики частотного преобразователя E-V300-015PT4

Характеристики	Величина
Номинальная мощность	15 кВт
Номинальный ток	32 А
Напряжение питания	380 В

### 2.2.3.8 Выбор электропривода

Для управления выбранными задвижками 31с945нж необходимы электроприводы с типом посадочного фланца Б. Рассмотрим электроприводы ГЗ и ROTORK.

Электроприводы с двухсторонней муфтой типов ГЗ-А, ГЗ-Б, ГЗ-В, ГЗ-Г, ГЗ-Д применяются для управления запорной трубопроводной арматурой. Электроприводы предназначены для дистанционного и местного управления запорной арматурой. Все приводы штатно комплектуются концевыми выключателями и муфтой ограничения крутящего момента [41].

Многооборотный электропривод ROTORK серии СК для запорной арматуры позволяет управлять работой клиновых задвижек, шиберов, запорных клапанов и другой арматуры. Все приводы штатно комплектуются ручным дублером и индикацией положения вала на корпусе привода. За остановку многооборотного электропривода Rotork в крайних положениях отвечают концевые выключатели. Дополнительные моментные выключатели отключают управление при превышении величины крутящего момента [42].

Технические характеристики электроприводов ГЗ-Б.200/24 и СК120-F10 представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики электроприводов

Характеристики	ГЗ-Б.200/24	СК120-F10
	Величина	
Исполнение	многооборотный, общепромышленный	многооборотный, общепромышленный
Температура окружающей среды	-40...+40 °С	-30...+70 °С
Питание	АС 3×380 В	АС 3×380 В
Крутящий момент	200 Нм	200 Нм
Класс защиты	IP65	IP68
Тип посадочного фланца	Б	ISO 5211
Цена	От 111612 руб.	От 148436 руб.

Электропривод ГЗ-Б.200/24 имеет тип посадочного фланца Б, подходящий для выбранной задвижки, к тому же этот привод имеет цену ниже, чем СК120-F10. Выберем электропривод ГЗ-Б.200/24.

### 2.2.3.9 Выбор шнека

Для транспортировки готового гидрата из реактора в камеру хранения необходим шнек. Рассмотрим два шнека с электроприводами: GSI GROUP и Т-206/2.

Технические характеристики шнеков GSI GROUP и Т-206/2 представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Технические характеристики электроприводов

Характеристики	GSI GROUP	T-206/2
	Величина	
Производительность	15 т/ч	25 т/ч
Внутренний диаметр шнека	200 мм	140 мм
Питание	380 В	380 В
Обороты вала шнека	330 об/мин	451 об/мин
Мощность двигателя	1,1...5,5 кВт	2,2 кВт
Длина шнека	2 м	1,2 м
Электропривод	Встроен	Встроен
Производитель	США	Россия
Цена	От 120000 руб.	От 62000 руб.

Обороты вала шнека T-206/2 выше, чем у шнека GSI GROUP. К тому же шнек T-206/2 доступен к покупке, так как он производится в России и имеет более низкую цену по сравнению со шнеком GSI GROUP. Выберем шнек T-206/2.

Спецификация представляет собой техническую документацию, в которой отражен перечень всех необходимых сведений о приборах и средствах автоматизации.

Заказная спецификация на приборы и средства автоматизированной системы управления производства газового гидрата представлена на листах с шифром ФЮРА.421000.024 С01.

#### **2.2.4 Разработка монтажной схемы внешних проводок**

Монтажная схема внешних проводок АСУ производства газового гидрата представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.024 С5.

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой показывают электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам.

Нижний уровень автоматики включает те средства автоматизации, которые находятся непосредственно на технологических объектах. Это датчики и исполнительные механизмы. На монтажной схеме внешних

проводок изображены подключения следующих технических средств АСУ нижнего уровня: три датчика температуры (1а-3а), три датчика давления (4а-6а), три датчика расхода (7б-9б), четыре задвижки с электроприводом, шнек и насос.

В верхней части первого листа представлена таблица с позициями датчиков и наименованиями параметров, измерение которых производятся. Термопреобразователь сопротивления (1а) с унифицированным токовым сигналом имеет двухпроводное подключение, провода датчика объединяются кабелем КВВГ 4 с сечением 0,75 мм и длиной 6 м. Два следующих датчика температуры (2а, 3а) с выходным сигналом в виде сопротивления имеют трехпроводное подключение, провода каждого датчика объединяются кабелями КВВГ 4 с сечением 0,75 мм и длиной 6 м. Все кабели от ТПС заводятся в клеммную коробку КС-10, имеющую 10 клемм, 3 входных пластмассовых сальника диаметрами 20 мм, 25 мм, 20 мм, 1 выходной пластмассовый сальник диаметром 32 мм. Там все провода объединяются в общий кабель КВВГЭ 10 с сечением 0,75 мм и длиной 12 м. Кабель направляют в щит автоматизации. Датчики давления ПТ-100 (4а-6а) имеют двухпроводное подключение. Провода каждого датчика объединяют кабелями КВВГ 4 с сечением 0,75 мм и длиной 6 м, которые заводятся в клеммную коробку КС-10. Затем общий кабель КВВГЭ 7 с сечением 0,75 мм, с 6 задействованными жилами и длиной 12 м направляют в щит автоматизации. Датчики расхода САПФИР-22 (7б-9б) имеют двухпроводное подключение. Провода каждого датчика объединяют кабелями КВВГ 4 с сечением 0,75 мм и длиной 6 м, которые заводятся в клеммную коробку КС-10. Затем общий кабель КВВГЭ 7 с сечением 0,75 мм, с 6 задействованными жилами и длиной 12 м направляют в щит автоматизации. Щит автоматизации соединен с силовым щитом кабелем ВВГнг 4 с сечением 2,5 и длиной 25 м.

На втором листе представлены внешние проводки исполнительных механизмов. Задвижки и шнек имеют электроприводы, к которым подводится 3-х проводное питание 380 В с силового щита кабелями ВВГнг 4

с сечением 2,5 и длиной 6 м. Сигналы положения каждого электропривода ГЗ-Б объединяются кабелями КВВГ 4 с сечением 1 мм, с двумя задействованными жилами и длиной 6 м, которые идут в клеммную коробку К10. Там они объединяются в кабель КВВГЭ 7 с сечением 1 мм и длиной 12 м и поступают в щит автоматизации. Дискретные сигналы с каждого привода ГЗ объединяют кабелями КВВГ 27 с сечением 1 мм, длиной 12 м и заводят в щит автоматизации. Насос имеет 3-х проводное питание 380 В, кабель питания ВВГнг 4 с сечением 2,5 и длиной 6 м идет от силового щита. Провода насоса Comet YA 150 объединяют кабелем КВВГ 4 с сечением 1 мм и длиной 6 м, который заводится в клеммную коробку КС-10. Сигналы положения электропривода ГЗ-А объединяют кабелем КВВГ 4 с сечением 1 мм, с двумя задействованными жилами и длиной 6 м. Таким же кабелем объединяют сигналы положения с электропривода шнека Т-206/2. Затем оба кабеля идут в клеммную коробку К10. Кабель от насоса Comet YA 150, электропривода ГЗ-А и электропривода шнека Т-206/2 в клеммной коробке объединяют в один кабель КВВГЭ 10 с сечением 1 мм, длиной 12 м, 8 задействованными жилами, затем этот кабель заводится в щит автоматизации. Дискретные сигналы с электропривода шнека Т-206/2 объединяют кабелем КВВГ 4 с сечением 1 мм, с двумя задействованными жилами, длиной 12 м и заводят в щит автоматизации.

## **2.2.5 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления**

Разработанная электрическая схема щита управления представлена на листах с шифром ФЮРА.421000.024 Э4.

### **2.2.5.1 Подсистема электрического питания и микроклимата щита управления**

В щит поступает питание в виде переменного напряжения 220 В через «Ввод питания», который подключается к розетке (XS1). Затем питание через автоматический выключатель (QF1) поступает на термореле (KK1), которое регулирует температуру в шкафу. В случае повышения температуры выше 40 °С срабатывает термореле KK1 и происходит охлаждение оборудования.

Напряжение 220 вольт, проходя через защиту от перенапряжений (Z0), поступает на вентилятор (M1), концевой выключатель (SQ1) и светильник (EL1). Преобразование переменного напряжения (220 В) в постоянное (24 В) производится с помощью источника бесперебойного питания (G1). Помимо преобразования напряжения, он обеспечивает непрерывное электропитание посредством использования аккумулятора.

Питание 220 В и 24 В заводится на клеммные зажимы XT11, XT12 соответственно, откуда раздается на всё электрооборудование, находящееся в шкафу. Также в щите используются резервные клеммные зажимы XT20 на 24 В, XT21 на 220 В и шина заземления для заземления всего электрооборудования.

### **2.2.5.2 Подсистема ввода-вывода аналоговых сигналов щита управления**

В щите автоматизации установлен модульный контроллер ЭЛСИ-ТМК состоящий из 6 модулей: питания (TP 712 024DC), процессорного (TC 711 A8-100 2ETH), аналоговых вводов (TA 716 16IDC), аналоговых выводов (TA 714 8O DC), дискретных вводов (TD 721 16I 024DC), дискретных выводов (TD 712 32O 024DC). Модули крепятся на коммутационную панель (TK 711 б).

Питание 24 В с клеммного зажима ХТ12, связанного с ИБП, поступает на модуль питания контроллера, имеющий выходную мощность 100 Вт. Процессорный модуль имеет высокопроизводительный процессор с частотой 1000 МГц, 2 встроенных интерфейса Ethernet и 512 Мб оперативной памяти.

Модуль аналогового ввода ТА 716 16IDC обеспечивает высокую скорость преобразования сигналов и групповую гальваническую развязку. Он имеет следующие характеристики: 16 аналоговых входов, диапазон измерения напряжения постоянного тока 0...10 В, диапазон измерения постоянного тока 0/4...20 мА.

Сигнал от двухканального датчика температуры (1а) поступает на преобразователь измерительный разделительный ET-421 (UY1). Также на него подается питание с клеммного зажима ХТ12, связанного с ИБП. Преобразователь ET-421 обеспечивает гальваническую развязку между датчиком и контроллером.

Сигналы от трехканальных датчиков температуры (2а, 3а) поступают на преобразователь измерительный разделительный ET-322 (UY2), имеющий 2 входных канала. Все преобразователи последовательно связаны с первым (UY1), поэтому питание от него передается остальным последовательно (UY2, UY3, UY4, UY5, UY6, UY7, UY8). Преобразователь ET-322 предназначен для преобразования сигнала сопротивления медных ТС в унифицированный выходной сигнал постоянного тока, а также он обеспечивает гальваническую развязку между датчиком и контроллером.

Сигналы от двухканальных датчиков давления (4а, 5а) поступают на преобразователь измерительный разделительный ET-422 (UY3), имеющий 2 входных канала; сигналы от двухканальных датчиков давления и расхода (6а, 7а) – на преобразователь измерительный разделительный ET-422 (UY4); сигналы от двухканальных датчиков расхода (8а, 9а) – на преобразователь измерительный разделительный ET-422 (UY5); сигналы о положениях от насоса (10) и электропривода (16) по двум каналам – на преобразователь измерительный разделительный ET-422 (UY6); сигналы о положениях

электроприводов (18, 12) по двум каналам – на преобразователь измерительный разделительный ET-422 (UY7); сигналы о положениях электроприводов (14, 20) по двум каналам – на преобразователь измерительный разделительный ET-422 (UY8). Преобразователи ET-422 обеспечивают гальваническую развязку между датчиками (исполнительными механизмами) и контроллером.

Все аналоговые сигналы после разводятся по входным каналам в аналоговый модуль TA 716 16IDC.

Модуль аналогового вывода TA 714 80 DC обеспечивает групповую гальваническую развязку и имеет следующие характеристики: 8 аналоговых выходов, диапазон формирования напряжения постоянного тока  $-10\dots+10$  В, диапазон формирования постоянного тока  $0\dots+20$  мА. Модуль соответствует используемым условиям.

Сигнал на изменение частоты вращения двигателя насоса (10) подается на преобразователь измерительный разделительный ET-421 (UY9), который создает гальваническую развязку между модулем контроллера и насосом. Также на него подается питание с клеммного зажима XT12, связанного с ИБП. С преобразователя управляющее воздействие в виде аналогового сигнала поступает на насос (10).

### **2.2.5.3 Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов щита управления**

Модуль дискретного ввода TD 721 16I 024DC контроллера ЭЛСИ-ТМК крепится на коммутационную панель ТК 711 6. Модуль имеет следующие характеристики: 16 каналов ввода, ток опроса датчиков сигнализации 10 мА и 20 мА, напряжение опроса датчиков 24 В, время опроса всех входов 3...12 мс.

Дискретные сигналы вырабатываются при помощи реле. Дискретные сигналы «перегрузка», «закрыто», «открыто» с электроприводов (11,13,15,19) вырабатываются при помощи реле PLC-RSC-230UC/21/EX (K2-K13), который имеет 1 переключающий контакт, входное напряжение 230 В

АС/220 В DC. Сигнализация о превышении давления в реакторе вырабатывается с помощью реле PLC-RSC-230UC/21 (K26), который имеет 1 переключающий контакт, входное напряжение 24 В DC. Также вырабатываются дискретные сигналы при открытии шкафа управления (K01), при превышении верхней границы температуры шкафа управления с помощью реле PLC-RSC-230UC/21-21 (K1) с двумя перекидными контактами, входным напряжением 230 В АС/220 В DC.

Модуль дискретного вывода TD 712 320 024DC контроллера ЭЛСИ-ТМК крепится на коммутационную панель ТК 711 6. Модуль обеспечивает групповую гальваническую развязку, защиту от короткого замыкания и перегрузок. Модуль дискретного вывода TD 712 320 024DC имеет следующие характеристики: 16 каналов вывода, максимально коммутируемый ток 0,2 А. Модуль подходит, так как имеет достаточное количество выходов и питание 24 В.

Управляющие дискретные сигналы «стоп», «открыть», «закрыть» с контроллера передаются на электроприводы (11, 13, 15,19) с помощью реле PLC-RSC-230UC/21/EX (K14-K25), который имеет 1 переключающий контакт, входное напряжение 230 В АС/220 В DC.

Перечень элементов щита управления представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.024 ПЭ4.

#### **2.2.5.4 Разработка общего вида щита управления**

Был выполнен поиск информации о каждом техническом средстве в руководствах по эксплуатации. В ходе чего была изучена информация о назначении, характеристиках, габаритных размерах, особенностях монтажа каждого технического средства. На основе представленной в руководствах по эксплуатации информации было спроектировано расположение технических средств в шкафу управления и рассчитаны примерные габаритные размеры самого шкафа. Для расположения всех средств автоматизации был выбран шкаф Rittal VX25 №8845 с габаритными размерами: высота 1400 мм, ширина 800 мм, глубина 500 мм.

В верхней части шкафа находятся светильник (EL1) и концевой выключатель (SQ1). Ниже расположены контроллер AC1, представляющий собой коммутационную панель (S1) с модулями (A1, A2, A3, A4, A5, A6,) и аккумуляторная батарея (G2). Под ними на DIN-рейке 35x7,5 мм длиной 600 мм находятся розетка (XS1), автоматические выключатели (QF1, QF2, QF3), защита (Z0), термостат (KK1), источник бесперебойного питания (G1), и 9 измерительных преобразователя (UY1-UY9). Еще ниже на DIN-рейке 35x7,5 мм длиной 600 мм расположены все реле (K01, K1-K34). В нижней части щита на четырех DIN-рейках 35x7,5 мм длиной 400 мм находятся клеммные зажимы (XT0-XT13, XT01- XT07, XT20, XT21). В самом низу расположена шина заземления (XT0-1). На двери шкафа находится вентилятор (M1). Между техническими средствами для прокладки соединений на 220 В и 24 В используются закрытые короба шириной 40 мм.

Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.024 ВО.

### 3 Расчет параметров настройки регулятора

#### 3.1 Идентификация объекта управления

Идентификация систем – это совокупность методов, используемых для построения математических моделей динамических объектов на основе эмпирических данных [43].

Для построения кривой разгона используем модель изменения давления в реакторе гидратообразования по времени (рисунок 8). Данные были сняты во время экспериментов с реальной установки (рисунок 1).

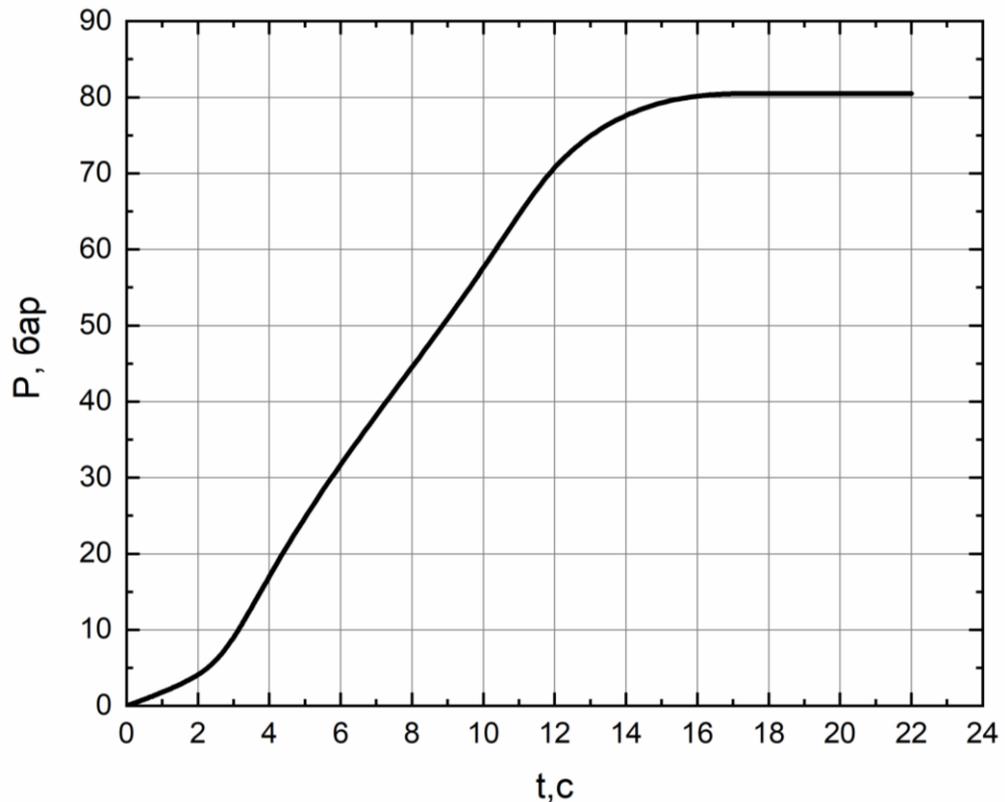


Рисунок 8 – Кривая разгона объекта управления

График получившейся кривой соответствует апериодическому звену с запаздыванием. Передаточная функция звена имеет следующий вид:

$$W(P) = \frac{k}{TP + 1} \cdot e^{-P\tau},$$

где  $k$  – коэффициент усиления;

$T$  – постоянная времени;

$P$  – оператор Лапласа;

$\tau$  – время запаздывания.

Определим параметры объекта по получившейся кривой.

При нулевых начальных решение уравнения представляет собой:

$$\begin{cases} h(t) = 0, & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[ 1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right], & t > \tau. \end{cases}$$

Коэффициент усиления  $k = \frac{h(T_y)}{A}$ , где  $A$  – выходное воздействие; при единичном воздействии  $k = h(T_y)$ . Время чистого запаздывания заранее выделяется из  $h(t)$ . Для нахождения времени запаздывания  $\tau$  и постоянной времени  $T$  на кривой разгона построим две точки А и Б. Точка А определяется как  $0,33k$ , а точка Б имеет ординату  $0,7k$  (рисунок 9).

Время запаздывания  $\tau$  и постоянная времени  $T$  определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)},$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1 - h_A) - t_A \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)},$$

где  $t_A$  и  $t_B$  – значение времени при соответствующих точках на кривой;

$h_A$  и  $h_B$  – значение ординат при точках А и Б.

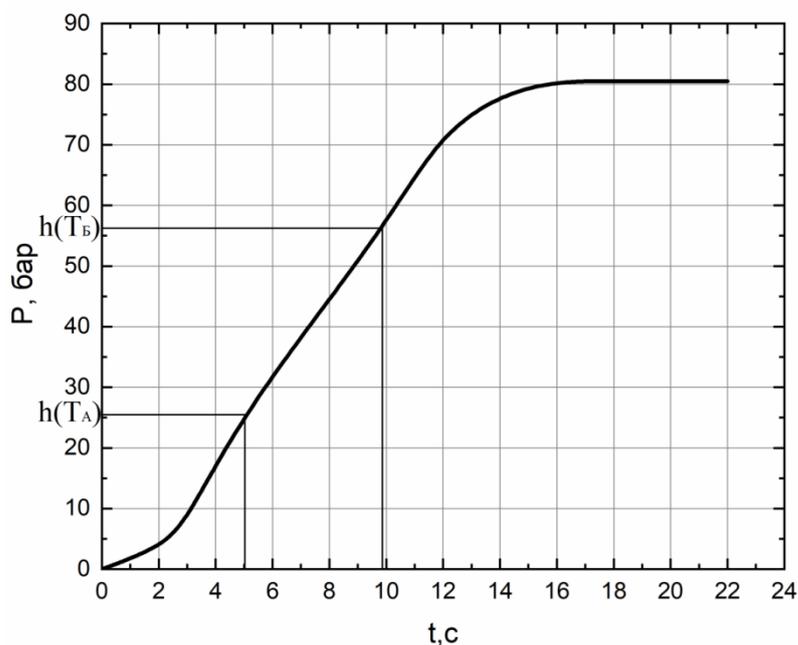


Рисунок 9 – Построение точек на кривой разгона для расчета параметров

Определим время  $t_B$  по нормированной переходной функции  $H(t)$ , которое является корнем уравнения  $h(t_B)$ , и время  $t_A$  и  $h(t_A)$ . Затем вычислим время запаздывания  $\tau$  и постоянную времени  $T$ :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B),$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1,2} = 1,25(t_B - t_A).$$

Подставим в формулу найденные с кривой разгона значения:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 5 - 10) = 2,5 \text{ с},$$

$$T = 1,25(10 - 5) = 6,25 \text{ с}.$$

Передаточная функция объекта управления:

$$W(P) = \frac{80}{(6,25P + 1)} e^{-2,5P}.$$

### 3.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 10 представлена структурная схема системы управления.

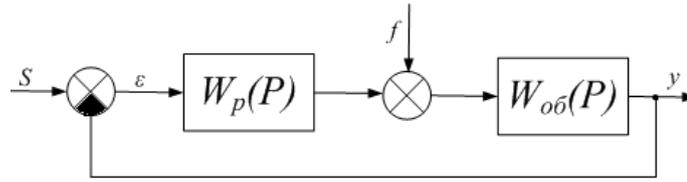


Рисунок 10 – Структурна схема системы регулирования

Для расчета и построения границы запаса устойчивости АСУ с ПИ-регулятором и объектом выберем корневой метод (с использованием РАФЧХ).

Расчетные формулы корневого метода для ПИ-регулятора имеют следующий вид:

$$\frac{k_{\Pi}}{T_{\text{и}}} = - \frac{w \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{\text{об}}(m, \omega)}{A_{\text{об}}^2(m, w)},$$

$$k_{\Pi} = - \frac{m \cdot \text{Im}_{\text{об}}(m, \omega) + \text{Re}_{\text{об}}(m, \omega)}{A_{\text{об}}^2(m, w)}.$$

Расчет системы производится для степени устойчивости равной  $\psi=0,85$ .

Определяем значение степени колебательности:

$$m = - \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = - \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,85) = 0,302.$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{80}{(6,25P + 1)} e^{-2,5P}.$$

Найдем значение  $\text{Re}_{\text{об}}$ ,  $\text{Im}_{\text{об}}$  и  $A_{\text{об}}(m, \omega)$ , выполнив замену  $P = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ :

$$W_{\text{об}}(m, \omega) = \frac{80}{(6,25(-m \cdot \omega + i \cdot \omega) + 1)} e^{-2,5(-m \cdot \omega + i \cdot \omega)};$$

$$W_{\text{об}}(m, \omega) = \frac{80 \cdot e^{-2,5(-m \cdot \omega + i \cdot \omega)}}{(1 - 6,25 \cdot m \cdot \omega) + 6,25 \cdot i \cdot \omega};$$

$$W_{об}(m, \omega) = \frac{80 \cdot ((1 - 6,25 \cdot m \cdot \omega) - 6,25 \cdot i \cdot \omega) \cdot e^{m \cdot \omega \cdot 2,5} \cdot e^{-i \cdot \omega \cdot 2,5}}{(1 - 6,25 \cdot m \cdot \omega)^2 + 6,25^2 \cdot \omega^2}.$$

Произведем замену экспоненциальной функции на тригонометрическую по формуле Эйлера:

$$W_{об}(m, \omega) = \frac{80 \cdot ((1 - 6,25 \cdot m \cdot \omega) - 6,25 \cdot i \cdot \omega) \cdot e^{m \cdot \omega \cdot 2,5} \cdot (\cos(\omega \cdot 2,5) - i \cdot \sin(\omega \cdot 2,5))}{(1 - 6,25 \cdot m \cdot \omega)^2 + 6,25^2 \cdot \omega^2}.$$

Рассчитаем  $Re_{об}$  и  $Im_{об}$ :

$$Re_{об}(m, \omega) = 80 \cdot e^{2,5 \cdot \omega} \cdot \frac{-6,25 \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot 2,5) - 1,89 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot 2,5) + \cos(\omega \cdot 2,5)}{(1 - 6,25 \cdot m \cdot \omega)^2 + 6,25^2 \cdot \omega^2};$$

$$Im_{об}(m, \omega) = 80 \cdot e^{2,5 \cdot \omega} \cdot \frac{1,89 \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot 2,5) - 6,25 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot 2,5) - \sin(\omega \cdot 2,5)}{(1 - 6,25 \cdot m \cdot \omega)^2 + 6,25^2 \cdot \omega^2};$$

Полученные значения для расширенных частотных характеристик объекта представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, c^{-1}$	$Re_{об}(m, \omega)$	$Im_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$	$\frac{k_{п}}{T_{и}}$	$k_{п}$
0	80	0	80	0	-0,0125
0,03	81,97	-22,79	85,08	$1,03 \cdot 10^{-4}$	$-1,04 \cdot 10^{-2}$
0,06	74,12	-45,45	86,94	$3,94 \cdot 10^{-4}$	$-7,99 \cdot 10^{-3}$
0,09	58,22	-62,46	85,39	$8,41 \cdot 10^{-4}$	$-5,4 \cdot 10^{-3}$
0,12	39,03	-71,31	81,29	$1,41 \cdot 10^{-3}$	$-2,65 \cdot 10^{-3}$
0,15	20,82	-73,00	75,91	$2,07 \cdot 10^{-3}$	$2,13 \cdot 10^{-4}$
0,18	5,67	-70,03	70,26	$2,79 \cdot 10^{-3}$	$3,14 \cdot 10^{-3}$
0,21	-6,09	-64,60	64,89	$3,52 \cdot 10^{-3}$	$6,08 \cdot 10^{-3}$
0,24	-14,88	-58,19	60,06	$4,22 \cdot 10^{-3}$	$8,99 \cdot 10^{-3}$
0,27	-21,33	-51,58	55,82	$4,88 \cdot 10^{-3}$	$1,18 \cdot 10^{-2}$
0,3	-26,03	-45,18	52,14	$5,44 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-2}$
0,33	-29,39	-39,14	48,95	$5,88 \cdot 10^{-3}$	$1,72 \cdot 10^{-2}$
0,36	-31,77	-33,53	46,19	$6,17 \cdot 10^{-3}$	0,0196356
0,39	-33,39	-28,34	43,80	$6,29 \cdot 10^{-3}$	$2,19 \cdot 10^{-2}$
0,42	-34,44	-23,54	41,72	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$2,39 \cdot 10^{-2}$
0,45	-35,03	-19,10	39,89	$5,89 \cdot 10^{-3}$	$2,56 \cdot 10^{-2}$
0,48	-35,24	-14,99	38,29	$5,35 \cdot 10^{-3}$	0,0271164
0,51	-35,15	-11,17	36,88	$4,57 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-2}$
0,54	-34,81	-7,61	35,63	$3,53 \cdot 10^{-3}$	$2,92 \cdot 10^{-2}$
0,57	-34,26	-4,29	34,53	$2,24 \cdot 10^{-3}$	$2,98 \cdot 10^{-2}$
0,6	-33,52	-1,19	33,54	$6,92 \cdot 10^{-4}$	$3,01 \cdot 10^{-2}$

Построим границу запаса устойчивости (рисунок 11).

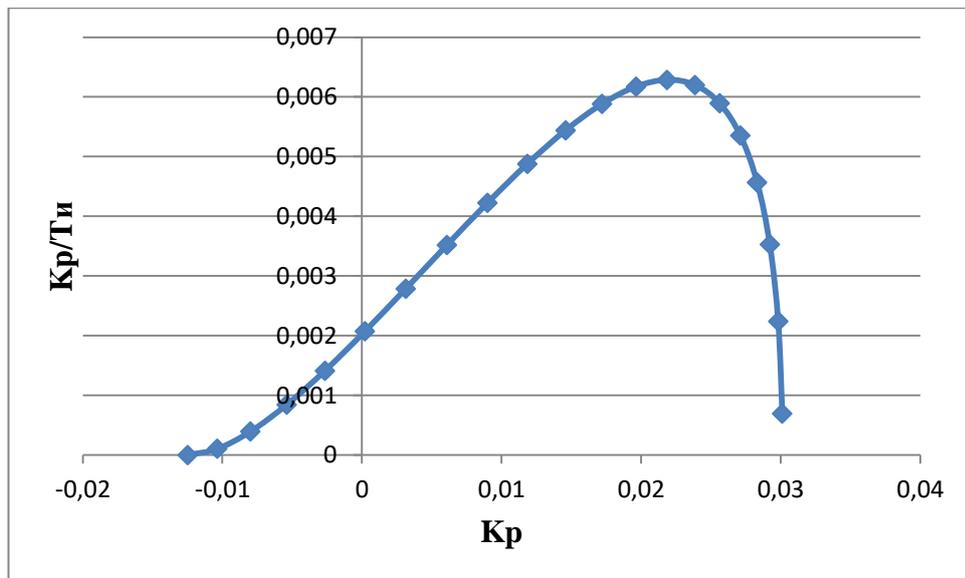


Рисунок 11 – Граница запаса устойчивости

Определим параметры настройки ПИ-регулятора. В качестве критерия качества используется первая интегральная оценка. Минимальное значение этой оценки соответствует точке с максимальным значением соотношения  $K_p/T_u$  на линии заданного запаса устойчивости.

По значениям, представленным в таблице 12 определим оптимальные параметры настройки ПИ-регулятора:

$$\max \left( \frac{K_p}{T_u} \right) = 0,006286, \quad K_p = 0,02187, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,39 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_u} = 3,48 \text{ с.}$$

Произведем оценку качества переходного процесса по каналу задания.

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)},$$

где  $W_p(P)$  – передаточная функция регулятора;

$W_{об}(P)$  – передаточная функция объекта.

Передаточная функция системы по каналу задания:

$$W(P) = \frac{\left(0,02187 + \frac{0,02187}{3,48P}\right) \cdot \left(\frac{80}{(6,25P + 1)} e^{-2,5P}\right)}{1 + \left(0,02187 + \frac{0,02187}{3,48P}\right) \cdot \left(\frac{80}{(6,25P + 1)} e^{-2,5P}\right)}$$

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. Значения частотных характеристик системы по каналу задания представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Расчетные значения вещественной частотной характеристики системы по каналу задания

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{s-y}(\omega)$
0	1
0,0097	1,000614
0,0195	1,002477
0,0292	1,005539
0,039	1,009843
0,0487	1,015272
0,0585	1,021901
0,0682	1,029547
0,078	1,03831
0,0877	1,047943
0,0975	1,05856
0,1072	1,069849
0,117	1,081927
0,1267	1,094411
0,1365	1,107399
0,1462	1,120436
0,156	1,133561
0,1657	1,146239
0,1755	1,158403
0,1852	1,169416

На рисунке 12 представлен график вещественной частотной характеристики.

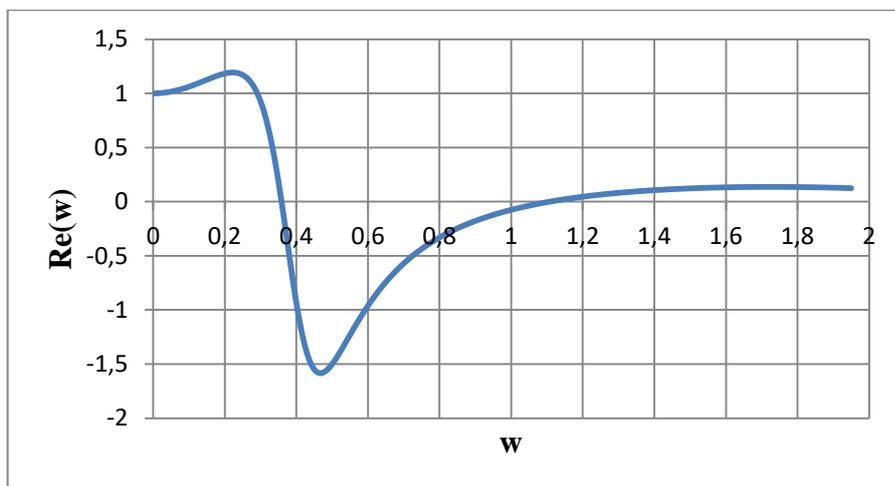


Рисунок 12 – Вещественная частотная характеристика системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega,$$

где  $Re(\omega)$  – вещественная частотная характеристика системы;

$\omega$  – частота;

$t$  – продолжительность переходного процесса системы.

На рисунке 13 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия.

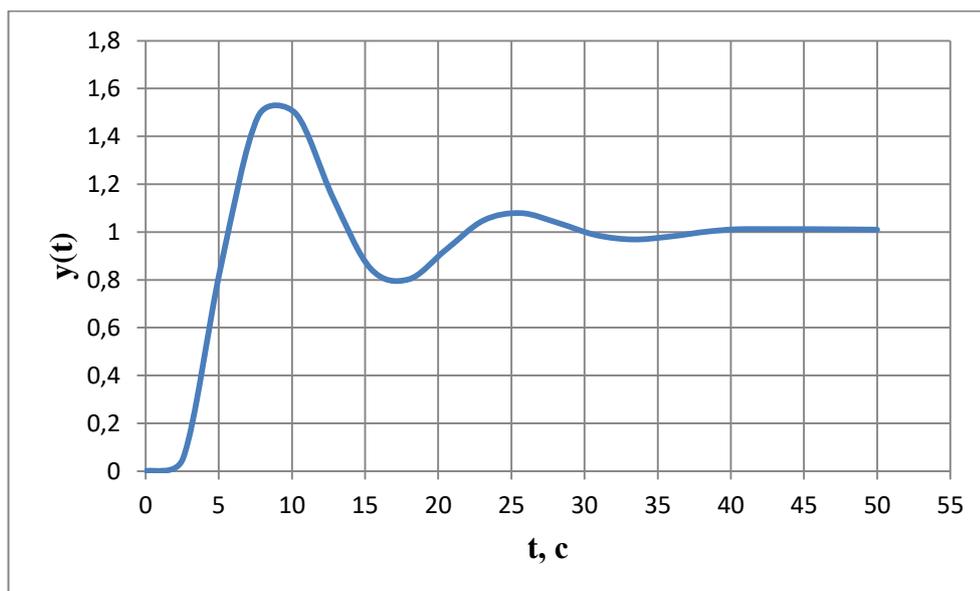


Рисунок 13 – Переходный процесс системы по каналу задающего воздействия

С помощью переходного процесса проведем оценку качества регулирования (рисунок 14).

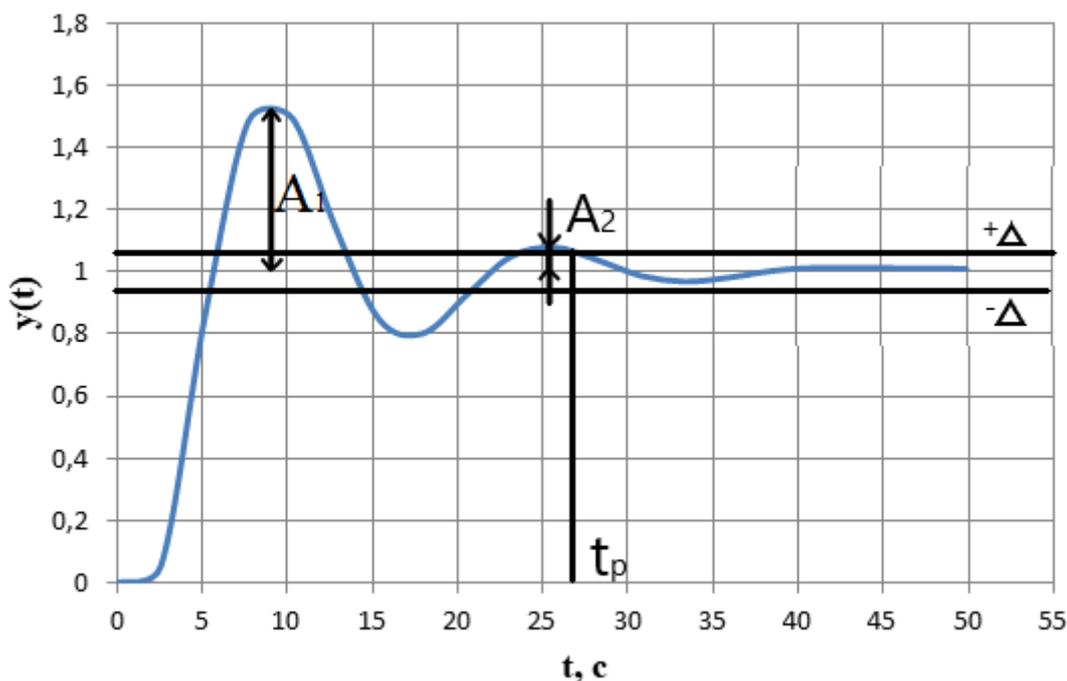


Рисунок 14 – Отображение прямых оценок качества на переходном процессе

Рассчитаем прямые оценки качества системы по каналу задания:

- 1) Динамическая ошибка:

$$A_1 = 0,5.$$

- 2) Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)} = \frac{0,5 \cdot 100\%}{1} = 5\%.$$

- 3) Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{ст} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0.$$

где  $S$  – величина сигнала задания.

- 4) Степень затухания:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,5 - 0,07}{0,5} = 0,86.$$

где  $A_2$  – вторая амплитуда колебания.

- 5) Время регулирования  $t_p = 26,5$  с.

## 4 Разработка SCADA системы для АСУ производства газового гидрата

На мнемосхеме изображается функциональная схема объекта автоматизации с визуализацией процесса работы. Мнемосхема позволяет оператору отслеживать технологические параметры системы, а также контролировать состояние оборудования.

Для АСУ производства газового гидрата была разработана мнемосхема, которая приведена на рисунке 15.

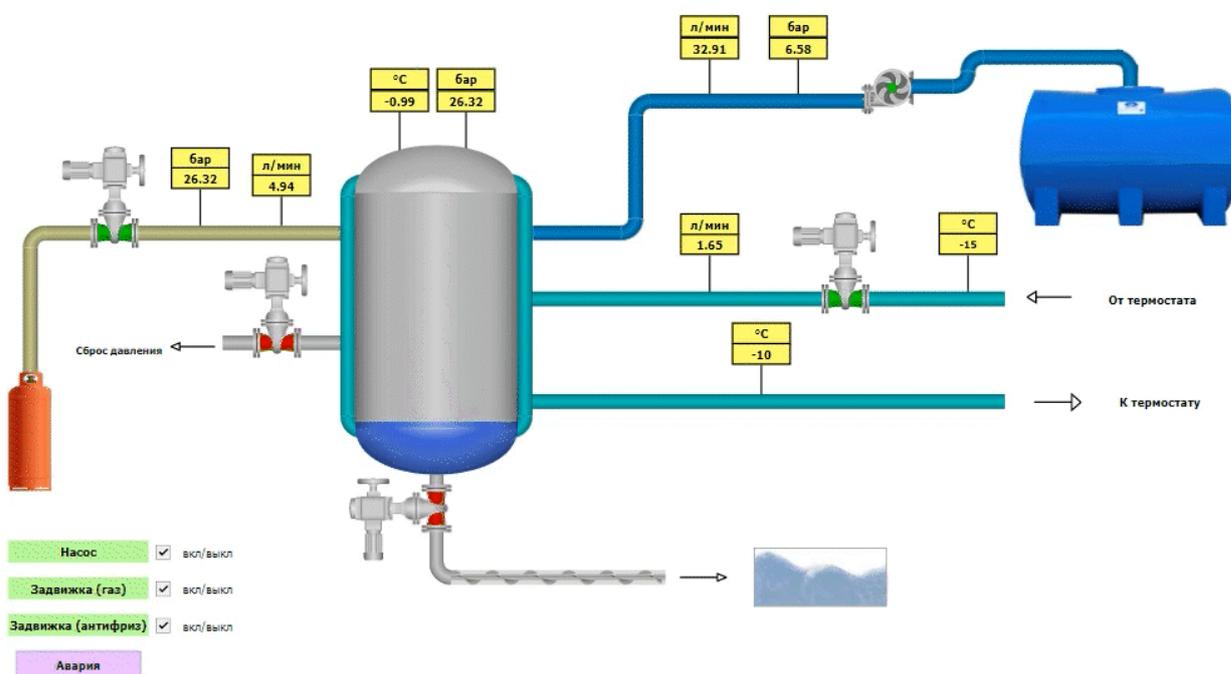


Рисунок 15 – Мнемосхема АСУ производства газового гидрата

На данной схеме условно изображен реактор гидратообразования, к которому подведены трубопроводы подачи воды и газа. В реакторе предусмотрены датчики давления и температуры. В газовом трубопроводе расположена задвижка с электроприводом, датчик давления и датчик расхода. В трубопроводе подачи воды установлен насос, датчик давления и датчик расхода. Реактор окружен охлаждающей рубашкой, по которой циркулирует антифриз. Антифриз подается в охлаждающую рубашку по трубопроводу прямой сети, в котором расположены задвижка с

электроприводом, датчик расхода и датчик температуры. Из охлаждающей рубашки к термостату антифриз движется по трубопроводу обратной сети, в котором расположен датчик температуры. Также в реакторе предусмотрен аварийный сброс давления, в случае если давление в реакторе превысит 250 бар, за сброс давления отвечает задвижка с электроприводом.

На панели управления расположены кнопки запуска насоса, открытия/закрытия задвижки на газовом трубопроводе, открытия/закрытия задвижки на трубопроводе подачи воды, открытия/закрытия задвижки на трубопроводе подачи антифриза.

Процесс создания гидрата начинается с подачи воды и газа в реактор (рисунок 16), также в реакторе создаются необходимые для гидратообразования условия (температура  $-3^{\circ}\text{C}$ , давление 80 бар).

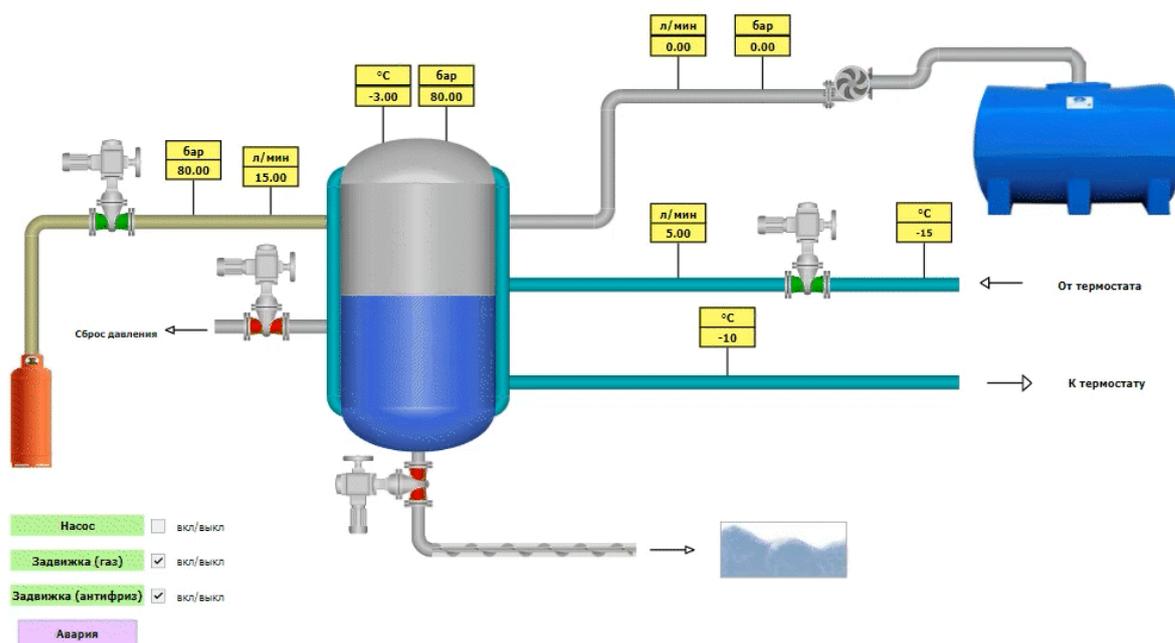


Рисунок 16 – Начало процесса создания гидрата

По достижению необходимых параметров начинается процесс образования гидрата (рисунок 17). Давление постепенно понижается, а температура повышается. Изменение параметров происходит до тех пор, пока они не достигнут равновесных (давление 33 бара, температура  $-3^{\circ}\text{C}$ ). На

этом процесс гидратообразования заканчивается, и гидрат удаляется из реактора по шнеку.

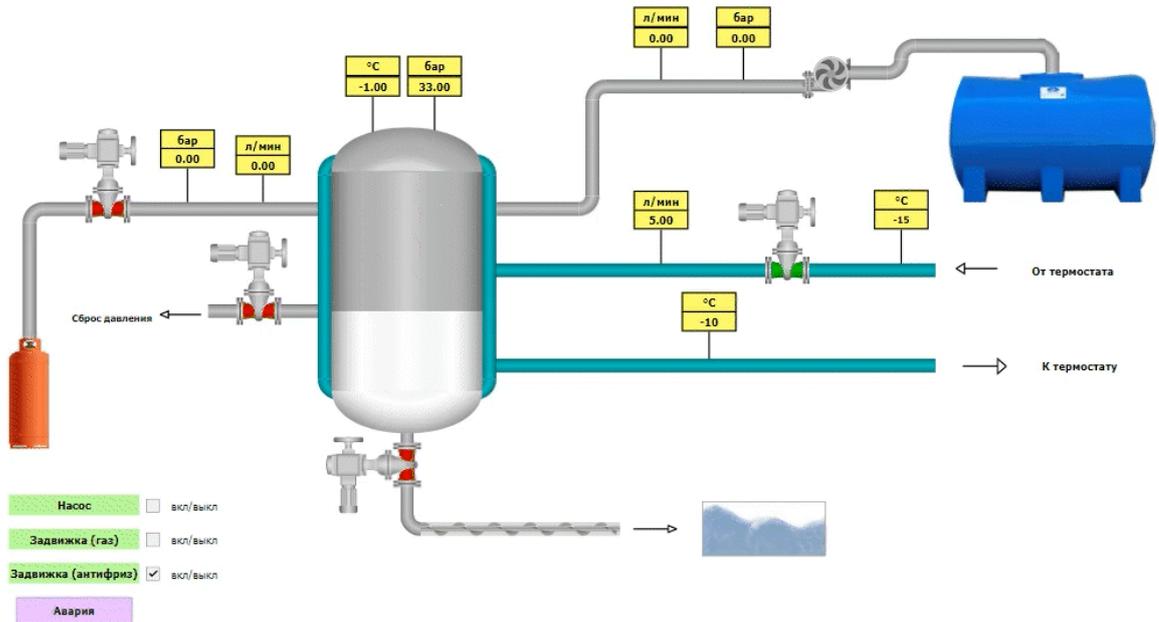


Рисунок 17 –Процесс гидратообразования

Также на мнемосхеме демонстрируется действие системы в случае аварии (рисунок 18). При превышении в реакторе давления 250 бар, открывается аварийная задвижка и давление сбрасывается до 10 бар (рисунок 19).

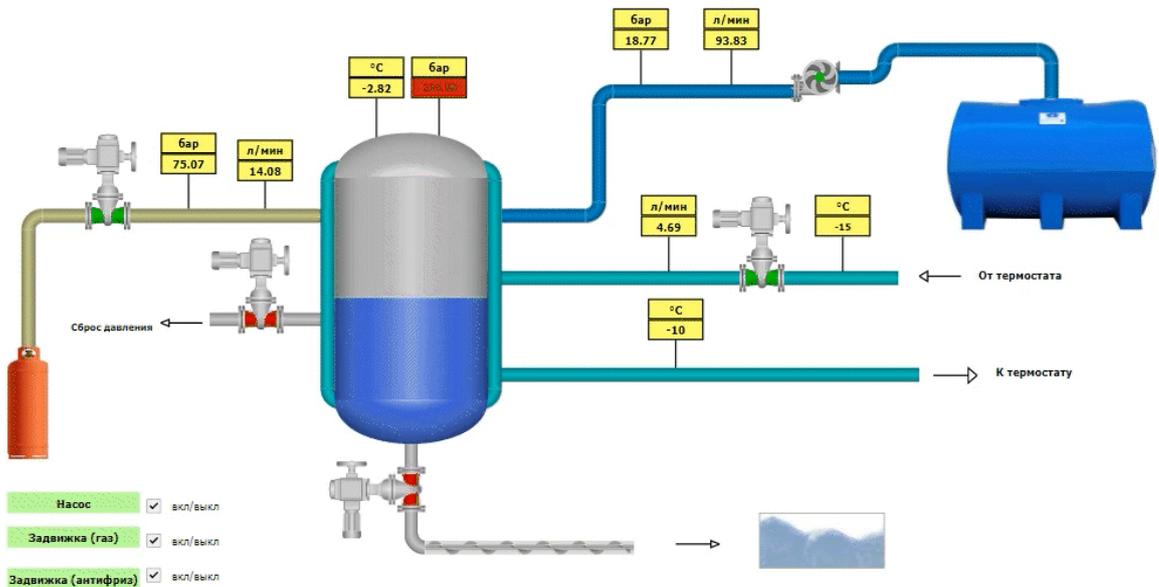


Рисунок 18 –Изображение на мнемосхеме предаварийной ситуации

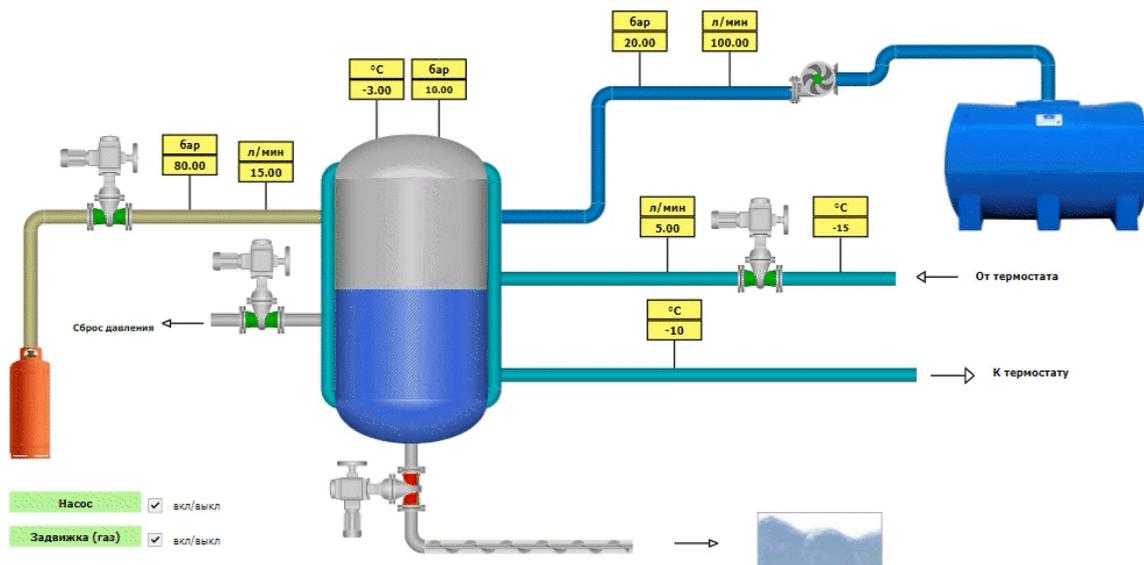


Рисунок 19 –Изображение на мнемосхеме аварийной ситуации

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б93	Школа Мария Валерьевна

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>И. Н. Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 20%; - норма амортизации 15%.</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%.</i>

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>Анализ конкурентных технических решений, проведение SWOT-анализа.</i>
2. Планирование и формирование бюджета	<i>Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ. Формирование бюджета затрат проекта.</i>
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	<i>Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

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

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

### Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

--	--

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	канд.экон.наук		

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Б93	Школа Мария Валерьевна		

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является оценка коммерческого потенциала и расчет ресурсной, финансовой и бюджетной эффективности автоматической системы управления производства газового гидрата.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности.

### **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **5.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

Были рассмотрены следующие конкурирующие разработки по производству газового гидрата:

1. Производство газового гидрата с использованием вибрации.
2. Производство газового гидрата с использованием ультразвука.

В таблице 14 представлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Энергоэкономичность	0,15	4	2	2	0,6	0,3	0,3
2. Уровень шума	0,09	4	1	1	0,36	0,09	0,09
3. Уровень вибрации	0,09	4	1	1	0,36	0,09	0,09
4. Простота эксплуатации	0,15	5	2	2	0,75	0,3	0,3

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7	8
5.Повышение производительности труда пользователя	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
6. Безопасность	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Цена	0,19	5	2	3	0,95	0,38	0,38
2.Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	2	2	0,5	0,2	0,2
3.Стоимость обслуживания	0,08	4	2	3	0,32	0,24	0,24
<b>Итого</b>	1	38	20	22	4,34	2,17	2,44

Конкурентоспособность определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя;

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Рассчитаем конкурентоспособность научной разработки:

$$K = 0,15 \cdot 4 + 0,09 \cdot 4 + 0,09 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,19 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,08 \cdot 4 = 4,34.$$

Рассчитаем конкурентоспособность первого конкурента:

$$K = 0,15 \cdot 2 + 0,09 \cdot 1 + 0,09 \cdot 1 + 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 + 0,19 \cdot 2 + 0,1 \cdot 2 + 0,08 \cdot 2 = 2,17.$$

Рассчитаем конкурентоспособность второго конкурента:

$$K = 0,15 \cdot 2 + 0,09 \cdot 1 + 0,09 \cdot 1 + 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 + 0,19 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 + 0,08 \cdot 3 = 2,44.$$

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что преимуществами научной разработки являются простота эксплуатации, низкая стоимость и энергоэкономичность производства. Конкурентные решения незначительно превышают научную разработку в производительности труда.

### 5.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ позволяет определить сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности проекта, а также определить угроз, которые могут появиться при реализации проекта. Матрица SWOT-анализа представлена в таблице 15.

Таблица 15 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими проектами.</p> <p>С2. Низкие энергозатраты на производство по сравнению с другими проектами.</p> <p>С3. Простота эксплуатации.</p> <p>С4. Показатели шума и вибрации на производстве ниже, чем у других.</p> <p>С5. Срок эксплуатации выше, чем у других аналогичных производств.</p> <p>С6. Наличие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Низкая скорость производства.</p> <p>Сл2. Отсутствие квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл3. Новизна технологии.</p> <p>Сл4. Медленный процесс вывода на рынок новой системы.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование в качестве нового вида топлива, дешевле и экологичнее традиционного.</p> <p>В2. Новый способ очистки и опреснения воды, проще и дешевле традиционных.</p> <p>В3. Новый способ транспортировки газа, проще и дешевле существующих.</p> <p>В4. Получение соли, как вторичного продукта производства, при использовании морской воды.</p> <p>В5. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>	<p><b>СиВ:</b></p> <p>Проект имеет разнообразные области применения. На него может появиться большой спрос в связи с тем, что проект прост в эксплуатации, имеет низкую стоимость производства и низкие энергозатраты по сравнению с конкурентными производствами.</p>	<p><b>СЛиВ</b></p> <p>В связи с новизной технологии и низкой скоростью производства, могут возникнуть проблемы с выдвигением проекта на рынок, а также это может негативно сказаться на его спрос.</p>

## Продолжение таблицы 15

<p><b>Угрозы:</b>          У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.          У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.          У3. Отсутствие спроса на новые технологии производства.          У4. Возможное развитие конкуренции технологий производства.</p>	<p><b>СиУ:</b>          Несмотря на возможное развитие конкуренции технологий, а также снижение стоимости на их разработки, наш проект имеет значительные преимущества, так как он прост в эксплуатации и имеет низкие энергозатраты. Так как проект имеет низкую стоимость и прост в эксплуатации, он будет привлекать мировой рынок, а значит появление зарубежных аналогов не несет серьезной угрозы.</p>	<p><b>СЛиУ:</b>          Новизна технологии может негативно повлиять на спрос. В связи с низкой скоростью производства, возможно развитие конкуренции.</p>
--	--	--

При проведении SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны научной разработки, проанализированы возможности и угрозы для дальнейшей реализации. SWOT-анализ позволил спрогнозировать возможное будущее проекта.

Основными достоинствами научной разработки являются простота эксплуатации и низкая стоимость производства, которые поднимут на нее спрос во многих областях промышленности.

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследования	2	Обзор научной литературы	Инженер
	3	Выбор направления исследования	Научный руководитель, инженер

## Продолжение таблицы 16

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследования	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение лабораторных исследований, направленных на изучение процесса синтеза газового гидрата	Инженер
Обобщение и оценка результатов	6	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, инженер
Разработка технической документации и проектирование	7	Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	Инженер
	8	Разработка монтажной схемы, принципиальной электрической схемы, щита управления	Инженер
	9	Разработка мнемосхемы АСУ	Инженер
	10	Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Инженер
	11	Написание раздела «Социальная ответственность»	Инженер
Оформление отчета по НИР	12	Составление пояснительной записки	Инженер

### 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В данном разделе определим трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Ожидаемое значение трудоемкости определяется по следующей формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5},$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.- дни;

$t_{\min\ i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел. - дни.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях по следующей формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Длительность каждого из этапов работ переводится из рабочих дней в календарные дни по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году, 365 дней;

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году, 118 дней в 2023 году;

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году, 14 дней в 2023 году.

Тогда коэффициент календарности равняется:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,57.$$

Рассчитанные значения минимально возможной трудоемкости выполнения, максимально возможной трудоемкости выполнения, ожидаемой трудоемкости выполнения, продолжительность работы (в рабочих днях), продолжительность работы (в календарных днях) по каждой работе представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{mi}$	$t_{maxi}$	$t_{ожi}$		Научный руководитель	Инженер	Научный руководитель	Инженер
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	Научный руководитель	1,4	-	2	-
Обзор научной литературы	3	5	3,8	Инженер	-	3,8	-	6
Выбор направления исследования	3	5	3,8	Научный руководитель, инженер	1,9	1,9	3	3
Календарное планирование работ	1	2	1,4	Научный руководитель, инженер	0,7	0,7	1	1
Проведение лабораторных исследований, направленных на изучение процесса синтеза газового гидрата	10	20	14	Инженер	-	14	-	22
Анализ полученных результатов	2	3	2,4	Научный руководитель, инженер	1,2	1,2	2	2
Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	18	23	20	Инженер	-	20	-	31
Разработка монтажной схемы, принципиальной электрической схемы, щита управления	18	23	20	Инженер	-	20	-	31
Разработка мнемосхемы АСУ	3	5	3,8	Инженер	-	3,8	-	6

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	3	5	3,8	Инженер	-	3,8	-	6
Написание раздела «Социальная ответственность»	8	10	8,8	Инженер	-	8,8	-	14
Составление пояснительной записки	5	7	5,8	Инженер	-	5,8	-	9

На основе таблицы 17 построим диаграмму Ганта. Календарный план-график представлен в 18 таблице.

Таблица 18 – Календарный план-график проведения НИОКР

№	Вид работ	Исп	T <sub>кi</sub> · кал. ден ь	Продолжать работ												
				февраль			март			апрель			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	НР	2													
2	Обзор научной литературы	Инж	6													
3	Выбор направления исследования	НР Инж	3													
4	Календарное планирование работ	НР Инж	1													
5	Проведение лабораторных исследований, направленных на изучение процесса синтеза газового гидрата	Инж	22													
6	Анализ полученных результатов	Инж	2													
7	Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	Инж	27													



эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Произведем расчет амортизации. Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Расчет нормы амортизации для термопреобразователя сопротивления Овен ДТС065Д-РТ100.0,25.100.МГ.И.ЕХD-Т6 [12]:

$$H_A = \frac{1}{8} = 0,125.$$

Расчет нормы амортизации для преобразователя давления Овен ПД100-ДИ16,0-115-0,5-ЕХD:

$$H_A = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Расчет нормы амортизации для показывающего датчика давления Baumer:

$$H_A = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Расчет нормы амортизации для термостата КРИО-ВТ-12-1:

$$H_A = \frac{1}{7} = 0,143.$$

Расчет нормы амортизации для электродвигателя с мешалкой hindustan electric motors:

$$H_A = \frac{1}{15} = 0,07.$$

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot m,$$

где  $И$  – итоговая сумма, тыс. руб.;

$m$  – время использования, мес.

Расчет амортизации для термопреобразователя сопротивления Овен ДТС065Д-РТ100.0,25.100.МГ.И.ЕХD-Т6 [12]:

$$A = \frac{0,125 \cdot 16200}{12} \cdot 0,7 = 118,13 \text{ руб.}$$

Расчет амортизации для преобразователя давления Овен ПД100-ДИ16,0-115-0,5-ЕХD:

$$A = \frac{0,1 \cdot 8160}{12} \cdot 0,7 = 47,6 \text{ руб.}$$

Расчет амортизации для показывающего датчика давления Ваumer:

$$A = \frac{0,1 \cdot 1800}{12} \cdot 0,7 = 10,5 \text{ руб.}$$

Расчет амортизации для термостата КРИО-ВТ-12-1:

$$A = \frac{0,143 \cdot 52510}{12} \cdot 0,7 = 438,02 \text{ руб.}$$

Расчет амортизации для электродвигателя с мешалкой hindustan electric motors:

$$A = \frac{0,06 \cdot 23600}{12} \cdot 0,7 = 82,6 \text{ руб.}$$

В таблице 20 представлены затраты на оборудование

Таблица 20 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование	Кол-во е.	Срок полезного использования	Цена оборудования, тыс. руб.	Время использования, мес.	$H_A$ , %	Амортизация
1	ТПС Овен ДТС065Д-РТ100.0,25.100.МГ.И.ЕХD-Т6 Т6 [12]	1	8	16200	0,7	12,5	118,13
2	Преобразователь давления Овен ПД100-ДИ16,0-115-0,5-ЕХD	1	10	8160	0,7	10	47,6
3	Показывающий датчик давления Ваumer	1	10	1800	0,7	10	10,5
4	Термостат КРИО-ВТ-12-1	1	7	52510	0,7	14,3	438,02
5	Электродвигатель с мешалкой hindustan electric motors	1	15	23600	0,7	6	82,6
Итого:							696,85 руб.

### 5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где  $З_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p = 2992,9 \cdot 5,2 = 15563,08 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p = 1112,6 \cdot 83,8 = 93235,88 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_m \cdot M}{F_d},$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дня  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дни.

В таблице 21 представлен баланс рабочего времени.

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Выходные/праздники	67	118
Отпуск/невыходы по болезни	50	35
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	212

Среднедневная заработная плата научного руководителя (6-дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{71370 \cdot 10,4}{248} = 2992,9 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера (5-дневная неделя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{21060 \cdot 11,2}{212} = 1112,6 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5.

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3.

Месячный должностной оклад научного руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}} = 54900 \cdot 1,3 = 71370 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}} = 16200 \cdot 1,3 = 21060 \text{ руб.}$$

В таблице 22 представлена основная заработная плата.

Таблица 22 – Основная заработная плата

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$ , руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
НР	54900	1,3	71370	2992,9	6	15563,08
Инж	16200	1,3	21060	1112,6	84	93235,88
Итого						108798,9 6

### 5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (0,12-0,15)

Дополнительная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 15563,08 = 2023,2 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 93235,88 = 12120,66 \text{ руб.}$$

### 5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды для научного руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (15563,08 + 2023,2) = 5275,88 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (93235,88 + 12120,66) = 31606,96 \text{ руб.}$$

### 5.3.6 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (0,16).

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (588,6 + 696,85 + 108798,96 + 14143,86 + 36882,84) \cdot 0,16 \\ &= 25777,78 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Растет бюджета затрат НТИ представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	588,6
Затраты на оборудование	696,85
Затраты на основную заработную плату	108798,96
Затраты на дополнительную заработную плату	14143,86
Отчисления во внебюджетные фонды	36882,84
Накладные расходы	25777,78
Бюджет затрат НИР	186888,89

### 5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Бюджета затрат НТИ представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Бюджет затрат НТИ

Наименование	Сумма, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Материальные затраты	588,6	850	780
Затраты на оборудование	696,85	4560	3690
Затраты на основную заработную плату	108798,96	106230	107750
Затраты на дополнительную заработную плату	14143,86	13809,9	14007,5
Отчисления во внебюджетные фонды	36882,84	36011,97	36527,25
Накладные расходы	25777,78	25833,9	26040,76
Бюджет затрат НИР	186888,89	187295,77	188795,51

Исп. 2 – производство газового гидрата с использованием вибрации

Исп. 3 – производство газового гидрата с использованием ультразвука

#### 5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения НИР.

$$\Phi_{p1} = 186888,89 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p2} = 187295,77 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p3} = 188795,51 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{186888,89}{188795,51} = 0,99,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{187295,77}{188795,51} = 0,992,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{188795,51}{188795,51} = 1.$$

Наиболее приемлемым с точки зрения финансовой эффективности является 1 вариант исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования рассчитывается по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

В таблице 25 представлена сравнительная оценка характеристик вариантов НИР.

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп1	Исп2	Исп3
Удобство эксплуатации	0,3	5	2	2
Энергосбережение	0,1	4	2	2
Срок эксплуатации	0,15	5	2	2
Стоимость обслуживания	0,3	4	2	3
Простота наладки	0,1	4	2	2
Динамическая точность	0,05	4	3	3
Итого:	1	4,45	2,05	2,35

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 4,45,$$

$$I_{p2} = 0,3 \cdot 2 + 0,1 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,3 \cdot 2 + 0,1 \cdot 2 + 0,05 \cdot 3 = 2,05,$$

$$I_{p3} = 0,3 \cdot 2 + 0,1 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 + 0,05 \cdot 3 = 2,35.$$

Рассчитаем интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп1}} = \frac{4,45}{0,99} = 4,49,$$

$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{2,05}{0,992} = 2,07,$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{p-\text{исп2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{2,35}{1} = 2,35.$$

Сравнительную эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ) запишем в таблицу 26.

Таблица 26 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	0,992	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	2,05	2,35
3	Интегральный показатель эффективности	4,49	2,07	2,35
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,461	0,523

Наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущее исследование).

В заключение можно сказать, что производство газового гидрата имеет множество сильных сторон и возможностей развития. Наиболее финансово- и ресурсоэффективным способом производством газового гидрата является производство без использования вибрации и ультразвука, а именно производство со смешиванием тонкораспыленных потоков газа и воды (текущее исследование).

В данном разделе были проведены оценка коммерческого потенциала разработки, планирование научно-исследовательской работы, расчет бюджета научно-исследовательской работы, определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
5Б93		Школа Мария Валерьевна	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	И.Н.Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

<b>АСУ производства газового гидрата</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> реактор гидратообразования.  <i>Область применения:</i> энергетика, нефтепромышленность, газовая промышленность, транспортировка газа, водоочистка.  <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение  <i>Размеры помещения:</i> 5×10 м  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> газовый баллон, реактор гидратообразования, бак с водой, насос, термостат, пять трубопроводов, четыре задвижки с электроприводами, три датчика давления, три датчика температуры, три датчика расхода, щит управления, шнек.  <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль параметров, контроль исправности оборудования.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023)</p> <p>2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования</p> <p>3. ГОСТ 22269-76 Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</p> <p>4. ГОСТ 21889-76 Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>– Повышенный уровень общей вибрации;</li> <li>– Производственные факторы, связанные с чрезмерно низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать обморожения тканей организма человека.</li> </ul> <p><b>Опасные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;</li> <li>– Производственные факторы физической природы действия, обусловленные свойствами этих химических веществ воспламеняться, гореть, тлеть, взрываться.</li> </ul> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> использование</p>

	защитных костюмов, виброизолирующие перчатки, защитные ограждения, безопасное расположение токоведущих частей, применение установки местного освещения (лампы, светильники), вентиляция, применение огнетушителей.
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b>	Воздействие на селитебную зону: превышение концентрации метана оказывает слабое наркотическое воздействие Воздействие на литосферу: отсутствует Воздействие на гидросферу: отсутствует Воздействие на атмосферу: выбросы метана в случае утечки или при диссоциации гидрата, вызывающие парниковый эффект
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	Возможные ЧС: техногенные ЧС (пожары, угроза взрывов) Наиболее типичная ЧС: взрыв.
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель, ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Школа Мария Валерьевна		

## **6 Социальная ответственность**

В представленной ВКР проводится автоматизация производства газового гидрата. Газовые гидраты представляют собой ледоподобные, кристаллические соединения, образованные водой и природным газом при высоком давлении и низкой температуре. Возможные области применения АСУ производства газового гидрата: энергетика (в качестве топлива), нефтепромышленность, газовая промышленность, транспортировка газа, водоочистка.

Объект располагается в производственном помещении размером 5×10 м. Необходимое оборудование: газовый баллон, реактор гидратообразования, бак с водой, насос, термостат, пять трубопроводов, четыре задвижки с электроприводами, три датчика давления, три датчика температуры, три датчика расхода, щит управления, шнек. Процесс гидратообразования начинается с охлаждения реактора до необходимой температуры с помощью охлаждающей рубашки и термостата. Затем в реактор подают воду и газ. Нагнетание газа создает необходимое для образования гидрата давление. Газ и вода закручиваются в циклоне, смешиваются, образуя водно-газовую смесь, из которой при определенных условиях (низкая температура и высокое давление) образуется газовый гидрат. После завершения процесса гидрат с помощью шнека перемещают в камеру хранения. Давление и температура в реакторе отслеживаются и контролируются с помощью датчиков и задвижек.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Работа в производственном помещении относится к 2 категории тяжести труда. Согласно ст. 91 ТК РФ [44] нормальная продолжительность рабочего времени для оператора АСУ не может превышать 40 часов в неделю.

Согласно [44], есть несколько видов компенсаций для работников, занятых на работах с вредными и/или опасными условиями труда:

- Минимальная продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска работникам составляет 7 календарных дней;
- Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и/или опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере;
- Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и/или опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Так как предполагается проведение работ сидя, то необходимо отметить некоторые показатели, которые учитываются при такой работе. Согласно ГОСТ 12.2.032.78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [45], конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение работ в пределах зоны досягаемости моторного поля. Также при проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать половую принадлежность работника.

Согласно ГОСТ 22269-76 «Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования» [46] взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. Средства отображения информации необходимо группировать и располагать группы относительно друг друга в соответствии с последовательностью их использования или с функциональными связями элементов систем, которые они представляют.

## **6.2 Производственная безопасность**

При выполнении работ оператора участка реактора гидратообразования согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.

Классификация» [47] могут иметь место следующие факторы, представленные в таблице 27.

Таблица 27 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора

Факторы	Нормативные документы
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»
Повышенный уровень общей вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования»
Производственные факторы, связанные с чрезмерно низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать обморожения тканей организма человека	ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник	ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»; ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
Производственные факторы физической природы действия, обусловленные свойствами этих химических веществ воспламеняться, гореть, тлеть, взрываться	ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования

### 6.2.1 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения приводят к снижению зрительного восприятия, нарушению деятельности центральной нервной системы, в результате чего появляются головные боли, раздражение. Длительная работа в таких условиях ведет к развитию близорукости, снижению работоспособности. Чрезмерное освещение, наличие слепящих источников света на рабочих местах также приводит к ухудшению здоровья. Согласно СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" [48] в цехах с полностью автоматизированным технологическим процессом следует предусматривать освещение для наблюдения за работой оборудования, а также дополнительно включаемые

светильники общего и местного освещения для обеспечения необходимой освещенности при ремонтно-наладочных работах. Нормативные показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения электропомещения представлены в таблице А.1 приложение А.

### 6.2.2 Повышенный уровень общей вибрации

Источниками вибрации в помещении при гидратообразовании являются электроприводы, насосы, потоки жидкости и газа. Длительное воздействие вибрации высоких уровней на организм человека приводит к развитию преждевременного утомления, снижению производительности труда, росту заболеваемости и нередко к возникновению профессиональной патологии — вибрационной болезни. Одними из основных ее синдромов являются головокружение и головные боли. Рабочее место оператора относится к 3 категории вибрации типа «а». Санитарные нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки на оператора для длительности смены 8 ч приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Санитарные нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки на оператора для длительности смены 8 ч

Вид вибрации	Категория вибрации по санитарным нормам	Направление действия	Нормативные, скорректированные по частоте и эквивалентные скорректированные значения			
			виброускорения		виброскорости	
			$m \cdot c^{-2}$	дБ	$m \cdot c^{-2} \times 10^{-2}$	дБ
Общая	1	$Z_0$	0,56	115	1,1	107
		$Y_0, X_0$	0,4	112	3,2	116
	2	$Z_0, Y_0, X_0$	0,28	109	0,56	101
	3 тип «а»	$Z_0, Y_0, X_0$	0,1	100	0,2	92
	3 тип «в»	$Z_0, Y_0, X_0$	0,014	83	0,028	75

Исходя из представленных норм вибрационной нагрузки, для оператора 3 категории типа «а» максимальный предел виброускорения составляет 100 Дб, а виброскорости – 92 дБ.

Согласно ГОСТ 12.1.012-2004 [49] работодатель должен предпринимать меры, необходимые для снижения вибрационной нагрузки. К таким мерам относятся: улучшение условий труда (в т.ч. снижение или исключение действия сопутствующих неблагоприятных факторов); предоставление средств индивидуальной защиты от вибрации; введение режимов труда и отдыха, в наибольшей мере снижающих неблагоприятное воздействие вибрации на человека; предоставление санитарно-профилактических и оздоровительных мероприятий; контроль вибрационных характеристик машин и вибрационной нагрузки на оператора.

### **6.2.3 Производственные факторы, связанные с чрезмерно низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать обморожения тканей организма человека**

Гидрат производится и хранится при отрицательных температурах. Контакт с материальными объектами чрезмерно низкой температуры способен вызвать обморожения тканей организма человека. Для работы в производственном помещении с оборудованием низкой температуры необходимы определенные средства защиты. К средствам защиты от пониженных или повышенных температур поверхностей оборудования, материалов и заготовок согласно ГОСТу 12.4.011-89 относятся устройства: оградительные, автоматического контроля и сигнализации, термоизолирующие, дистанционного управления [50].

### **6.2.4 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работник**

К электротравмам относятся: электрические ожоги (токовые, контактные дуговые, а также комбинированные); электрические знаки («метки»), металлизация кожи; механические повреждения;

электроофтальмия; электрический удар (электрический шок). Основные неблагоприятные последствия, которые могут наступить вследствие поражения электрическим током: остановка сердца, дыхания; разрыв мышц, поражение мозга, ожоги. Такие повреждения характерны для поражающего тока величиной более 10 миллиампер.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ [51] напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 29.

Таблица 29 – напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	$U, В$	$I, мА$
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Согласно ГОСТ 12.1.019-79 [52] для контроля предельно допустимых значений напряжений прикосновения и токов измеряют напряжения и токи в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Класс точности измерительных приборов не ниже 2,5.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства: безопасное расположение токоведущих частей; изоляцию рабочего места; предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетокведущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы: защитное заземления; зануление; выравнивание потенциала;

систему защитных проводов; малое напряжение; средства индивидуальной защиты.

### **6.2.5 Производственные факторы физической природы действия, обусловленные свойствами этих химических веществ воспламеняться, гореть, тлеть, взрываться**

При производстве газового гидрата может использоваться горючий газ, например, метан. Неправильное обращение с оборудованием, не соблюдение техники безопасности может привести к пожару либо взрыву. Опасными и вредными факторами, воздействующими на работающих в результате взрыва, являются: ударная волна, во фронте которой давление превышает допустимое значение; пламя; обрушивающиеся конструкции, оборудование, коммуникации, здания и сооружения и их разлетающиеся части; образовавшиеся при взрыве и (или) выделившиеся из поврежденного оборудования вредные вещества, содержание которых в воздухе рабочей зоны превышает предельно допустимые концентрации. Организационные и организационно-технические мероприятия по обеспечению взрывобезопасности в соответствии с ГОСТом 12.1.010-76 должны включать: разработку системы инструктивных материалов средств наглядной агитации, регламентов и норм ведения технологических процессов, правил обращения с взрывоопасными веществами и материалами; организацию обучения, инструктажа и допуска к работе обслуживающего персонала взрывоопасных производственных процессов; осуществление контроля и надзора за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности; организацию противоаварийных, газоспасательных и горноспасательных работ и установление порядка ведения работ в аварийных условиях [53].

### **6.3 Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду, а именно на селитебную зону и атмосферу.

### **6.3.1 Селитебная зона**

При производстве гидрата возможна утечка метана. Метан относится к четвертому классу токсичности. При больших концентрациях метан обладает слабым наркотическим действием на человека ПДК 7000 мг/м<sup>3</sup>. Наркотическое действие метана CH<sub>4</sub> ослабляется его малой растворимостью в воде и крови, а также химической инертностью. Погибнуть человеку в воздухе с высокой концентрацией метана можно только от недостатка кислорода в воздухе. Селитебная зона необходима, если объект (эксплуатируемый или проектируемый) относится к 1-4 классу опасности по санитарной классификации или показатели выбросов превышают 0,1 ПДК. Проектируемое производство относится к четвертому классу опасности, при котором селитебная зона должна составлять 100 м.

### **6.3.2 Атмосфера**

При производстве гидрата или при его диссоциации возможна утечка метана. Выбросы метана в атмосферу вызывают парниковый эффект. ПДК м.р. (предельно допустимая концентрация в атмосферном воздухе максимальная разовая): 50,0 (ОБУВ) мг/м<sup>3</sup>. Для предотвращения утечки метана необходимо применять газ со специальными отдушками, регулярно проверять герметичность трубопроводов, реактора и камеры хранения гидрата, установить специальный газовый сигнализатор.

### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

На данном производстве возможны чрезвычайные ситуации техногенного характера, а именно пожар или взрыв. Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является взрыв.

Взрыв может произойти вследствие утечки метана из газового баллона, трубопровода, реактора или камеры хранения гидрата. Для предотвращения взрыва необходимо выполнять следующие требования: применять газ со специальными отдушками, регулярно проверять герметичность трубопроводов, реактора и камеры хранения гидрата, установить специальный газовый сигнализатор, при превышении 1% метана в воздухе

необходимо перекрыть подачу газа, провести эвакуацию рабочего персонала и проветрить помещение.

Согласно «Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности» [54] пожар относится к С классу. В помещении должен находиться местный щит управления (МЩУ). Трубопроводы с газом должны выполняться из стальных бесшовных труб. Зануление (заземление) электрооборудования установок переменного и постоянного тока должно выполняться в соответствии с ПУЭ. Не допускается прокладка трубопроводов с газом через бытовые, административные и электротехнические помещения, вентиляционные камеры. Прокладка всех видов кабелей в металлических газонаполненных трубах – отличный вариант для предотвращения взрыва.

Для тушения пожаров класса С используются: объёмное тушение и флегматизация газовыми составами; огнетушащие порошки общего назначения; пены, вода (для охлаждения оборудования).

## **6.5 Выводы по разделу**

В процессе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, а именно произведен анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов, экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что, соблюдая определенные нормы и правила, возможно наладить стабильное производство, не подвергая опасности окружающую среду и людей.

Согласна ПУЭ помещение относится к категории повышенной опасности. Инженер-оператор АСУ должен иметь III группу по электробезопасности. Допуск персонала с III группой подразделяется на работу с сетями до и выше 1000 В, а также дает право единоличного обслуживания, осмотра, подключения и отключения электроустановок от сети до 1000 В.

Тяжесть труда согласно СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории 1б [55].

Согласно СП 12.13130.2009 помещение относится к категории А по взрывопожарной и пожарной опасности [56]. По воздействию на окружающую среду данный объект относится ко 2 категории, так как оказывает умеренное негативное воздействие.

## **Заключение**

В рамках данного дипломного проекта была разработана автоматизированная система управления производства газового гидрата.

Был выполнен поиск и подбор технических средств автоматизации. Разработана проектная документация, включающая: структурную схему, функциональную схему, монтажную схему, электрическую схему соединений. Было выполнено проектирование шкафа управления, разработан перечень элементов к нему.

Также выполнен раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в котором были проведены оценка коммерческого потенциала разработки, планирование научно-исследовательской работы, расчет бюджета научно-исследовательской работы, определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях.

## Список использованной литературы

1. Jin G. et al. Enhancement of gas production from hydrate reservoir using a novel deployment of multilateral horizontal well // *Energy*. 2023. Vol. 270. P. 126867.
2. Gambelli A.M., Rossi F. Optimization of the pressure drop produced during CO<sub>2</sub> replacement in hydrate reservoirs: Balance between gas removal and preservation of structures // *J. Pet. Sci. Eng.* 2022. Vol. 217. P. 110936.
3. Foschi M., Etiope G., Cartwright J.A. Seismic evidence of extensive microbial gas migration and trapping in submarine gas hydrates (Rakhine Basin, Bay of Bengal) // *Mar. Pet. Geol.* 2023. Vol. 149. P. 106100.
4. Xue K. et al. Numerical simulation of gas hydrate production in shenhu area using depressurization: The effect of reservoir permeability heterogeneity // *Energy*. 2023. Vol. 271. P. 126948.
5. Liu Q. et al. A review of the gas hydrate phase transition with a microfluidic approach // *Energy Rev.* 2023. Vol. 2, № 1. P. 100011.
6. Cox S.J. et al. Formation of Methane Hydrate in the Presence of Natural and Synthetic Nanoparticles // *J. Am. Chem. Soc. American Chemical Society*, 2018. Vol. 140, № 9. P. 3277–3284.
7. Geo Lim S. et al. Sustainable freshwater recovery from radioactive wastewater by gas hydrate formation // *Chem. Eng. J.* 2023. Vol. 461. P. 141830.
8. Shakya S.R. et al. Estimation of air pollutant emissions from captive diesel generators and its mitigation potential through microgrid and solar energy // *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 3251–3262.
9. Wang Y. et al. Life cycle assessment of combustion-based electricity generation technologies integrated with carbon capture and storage: A review // *Environ. Res.* 2022. Vol. 207. P. 112219.
10. Kumar Kadian A. et al. Performance enhancement and emissions mitigation of DI-CI engine fuelled with ternary blends of jatropha biodiesel-diesel-heptanol // *Mater. Sci. Energy Technol.* 2022. Vol. 5. P. 145–154.
11. Ibrahim M.F. et al. Children's exposure to air pollution in a natural

gas industrial area and their risk of hospital admission for respiratory diseases // Environ. Res. 2022. Vol. 210. P. 112966.

12. Hojjati-Najafabadi A. et al. Magnetic-MXene-based nanocomposites for water and wastewater treatment: A review // J. Water Process Eng. 2022. Vol. 47. P. 102696.

13. Gajanayake S.M. et al. Natural gas hydrates – Insights into a paradigm-shifting energy resource // Energy Rev. 2023. Vol. 2, № 1. P. 100013.

14. D.V. A. et al. Dissociation of gas hydrates in different heating schemes // Therm. Sci. Eng. Prog. 2023. P. 101774.

15. Misyura S.Y. Developing the environmentally friendly technologies of combustion of gas hydrates. Reducing harmful emissions during combustion // Environ. Pollut. 2020. Vol. 265. P. 114871.

16. Misyura S.Y. Dissociation of various gas hydrates (methane hydrate, double gas hydrates of methane-propane and methane-isopropanol) during combustion: Assessing the combustion efficiency // Energy. 2020. Vol. 206. P. 118120.

17. Carroll J. Chapter 11 - Additional topics / ed. Carroll J.B.T.-N.G.H. (Fourth E. Boston: Gulf Professional Publishing, 2020. P. 347–360.

18. Kim S.M. et al. Gas hydrate formation method to capture the carbon dioxide for pre-combustion process in IGCC plant // Int. J. Hydrogen Energy. 2011. Vol. 36, № 1. P. 1115–1121.

19. Bhattacharjee G. et al. Stability analysis of methane hydrates for gas storage application // Chem. Eng. J. 2021. Vol. 415. P. 128927.

20. Meleshkin A. V, Bartashevich M. V, Glezer V. V. Investigation of the effect of operating parameters on the synthesis of gas hydrate by the method based on self-organizing process of boiling-condensation of a hydrate-forming gas in the.

21. Joseph J. et al. Investigation on excess gas method for synthesis of methane gas hydrates // J. Nat. Gas Sci. Eng. 2017. Vol. 42. P. 203–215.

22. К.Б. Комиссаров, В.А. Финоченко. Установка для получения газовых гидратов//Патент России № 2045718.1995.

23. М.С. Власкин, А.О. Дудолодов, А.З. Жук. Установка для производства гидрата метана//Патент России № 2643370.2018. Бюл. № 4.
24. Бондаренко В.И., Максимова Е.О., Овчинников М.П. Про технологию производства газовых гидратов. Уголь Украины. 2015. С. 33—37.
25. Гошовский, С. В. Обзор технологий искусственного получения газогидратов / С. В. Гошовский, А. В. Зурьян. — Текст : непосредственный // Геологія і корисні копалини Світового океану. — 2019. — № 1. — С. 97-114.
26. Контрольно-измерительные приборы ОВЕН. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://owen.ru/product/dtshh5exd\\_termosoprotivleniya\\_s\\_vihodnim\\_signalom\\_420ma\\_svoobodnij](https://owen.ru/product/dtshh5exd_termosoprotivleniya_s_vihodnim_signalom_420ma_svoobodnij). — ДТСхх5Д.И термосопротивления с выходным сигналом 4...20 мА EXD. — (дата обращения: 05.05.2023).
27. Emerson Global. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/-ru-ru-4848882.pdf> свободный. — Аналоговые преобразователи температуры с унифицированным выходным сигналом ТХАУ Метран-271, ТСМУ Метран-274, ТСПУ Метран-276. — (дата обращения: 05.05.2023).
28. Контрольно-измерительные приборы ОВЕН. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://ftp.owen.ru/Documentation/re/rie\\_pd100-di\\_m01\\_870.pdf](https://ftp.owen.ru/Documentation/re/rie_pd100-di_m01_870.pdf) свободный. — Овен ПД100-ДИ Руководство по эксплуатации. — (дата обращения: 05.05.2023).
29. Преобразователи давления. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.orleks.ru/files/380/metran-1500.pdf> свободный. — Датчики давления Метран-150 Руководство по эксплуатации. — (дата обращения: 05.05.2023).
30. Контрольно-измерительные приборы ОВЕН. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://owen.ru/product/dtshh4\\_termosoprotivleniya\\_s\\_kabel\\_nim\\_vivodom](https://owen.ru/product/dtshh4_termosoprotivleniya_s_kabel_nim_vivodom)

свободный. – ДТСхх4 термосопротивления с кабельным выводом. – (дата обращения: 05.05.2023).

31. Emerson Global. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/2000-ru-ru-4849590.pdf>

свободный. – Термопреобразователи сопротивления Метран-2000 Руководство по эксплуатации. – (дата обращения: 05.05.2023).

32. Emerson Global. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/-ru-61882.pdf> свободный. –

Диафрагмы для расходомеров. – (дата обращения: 05.05.2023).

33. Каталог сигнал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://sapfir.nt-rt.ru/images/manuals/teh\\_opis\\_22o-xu.pdf](https://sapfir.nt-rt.ru/images/manuals/teh_opis_22o-xu.pdf) свободный. –

Преобразователь измерительный взрывозащищенный САПФИР-22-ЕХ-М техническое описание и инструкция по эксплуатации 3.5095.005 ТО. – (дата обращения: 05.05.2023).

34. Преобразователи давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.orleks.ru/files/380/elemer\\_100\\_mp\\_zakaz.pdf](https://www.orleks.ru/files/380/elemer_100_mp_zakaz.pdf) свободный. – Датчики давления «ЭЛЕМЕР-100». – (дата обращения: 05.05.2023).

35. Компания Мастерпром. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.master-prom.ru/cat/detail/5210/> свободный. – Задвижка 31с945нж, стальная Ду 50 - Ду 250 Ру 160, под электропривод. – (дата обращения: 05.05.2023).

36. Производственная фирма Челнинский арматурный завод. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://chelaz.ru/katalog/zadvizhki/30s941nzh/30s941nzh.html> свободный. –

Задвижка стальная клиновая 30с941нж с выдвигным шпинделем РН 1,6 МПа. – (дата обращения: 05.05.2023).

37. Мак техно. [Электронный ресурс]. – Режим доступа [https://maktech.ru/makdrive/abra-kv-01-zadvizhki-shibernye-s-](https://maktech.ru/makdrive/abra-kv-01-zadvizhki-shibernye-s-elektroprivodom/#tabs)

[elektroprivodom/#tabs](https://maktech.ru/makdrive/abra-kv-01-zadvizhki-shibernye-s-elektroprivodom/#tabs) свободный. – Задвижки шибберные двухсторонние АВРА KV-01 с электроприводом ГЗ. – (дата обращения: 05.05.2023).

38. Комплект сервис. [Электронный ресурс]. – Режим доступа [https://ks-rus.com/catalog/shibernye-zadvizhki/cmo/a-01-auma-e-chugunnaya-mezhflantsevaya-s-elektroprivodom-auma-sa-380v/offer-a\(sp\)-011-01-0600-pn4-ssp-auma-e/](https://ks-rus.com/catalog/shibernye-zadvizhki/cmo/a-01-auma-e-chugunnaya-mezhflantsevaya-s-elektroprivodom-auma-sa-380v/offer-a(sp)-011-01-0600-pn4-ssp-auma-e/) свободный. – А-01-0700-PN2-AUMA-E Задвижка шиберная СМО DN700 PN2 выдвигной шток, корпус GG25, нож AISI 304, EPDM, Электропривод AUMA SA 14.2 380В. – (дата обращения: 05.05.2023).

39. Комета. [Электронный ресурс]. – Режим доступа [https://www.cometa.ru/catalogue/nasosy\\_i\\_komplektuyushchie\\_dlya\\_opryskivatelyu/](https://www.cometa.ru/catalogue/nasosy_i_komplektuyushchie_dlya_opryskivatelyu/) свободный. – Насосы высокого давления. – (дата обращения: 05.05.2023).

40. Сертифицированный магазин Wilo. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wl-russia.ru/blochnyj-nasos-wilo-cronobloc-bl-e-100-200-5-5-4-r1> свободный. – Блочный насос Wilo CronoBloc-BL-E 100/200-5,5/4-R1. – (дата обращения: 05.05.2023).

41. Электропривод ГЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gz-privod.ru/documentation/to/mnogoob.pdf> свободный. – Многооборотные электроприводы с двухсторонней муфтой ограничения крутящего момента серии ГЗ. – (дата обращения: 05.05.2023).

42. Компания ВСЯ АРМАТУРА. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://all-armatura.ru/privody-rotork/elektroprivody-rotork/elektroprivod-rotork-mnogooborotnyj-ep261/> свободный. – Электропривод ROTORK многооборотный. – (дата обращения: 05.05.2023).

43. Сумин Денис Леонидович, Мартыненко Данил Васильевич МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ // StudNet. 2022. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-identifikatsii-obektov-upravleniya> (дата обращения: 05.05.2023).

44. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст]: от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023) // Собрание законодательства РФ. – 07.01.2002 – № 1 (ч. 1). – Ст. 91.

45. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические

требования: дата введения 1979-01-01. – Москва: Государственный комитет стандартов, 1986. – 152 с.

46. ГОСТ 22269-76. Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования: дата введения 01-01-1978. – Москва: Государственный комитет стандартов, 1989. – 4 с.

47. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 01-03-2017. – Москва: Государственный комитет стандартов, 2019. – 16 с.

48. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение: дата введения 08-05-2017. – Москва: Государственный комитет стандартов, 2016. – 135 с.

49. ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования: дата введения 01-07-2008. – Москва: Государственный комитет стандартов, 2010. – 23 с.

50. ГОСТ 12.4.011-89. Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация: дата введения 30-06-1990. – Москва: ИПК издательство стандартов, 2004. – 8 с.

51. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: дата введения 30-06-1983. – Москва: Система стандартов безопасности труда, 1988. – 7 с.

52. ГОСТ 12.1.019-79. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты: дата введения 30-06-1980. – Москва: Система стандартов безопасности труда, 2000. – 7 с.

53. ГОСТ 12.1.010-76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования: дата введения 01-01-1978. – Москва: Система стандартов безопасности труда, 2003. – 7 с.

54. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности": дата введения 01-03-2023. – Москва: Система стандартов безопасности труда, 2008. – 114 с.

55. СанПиН 1.2.3685-21: дата введения 30-12-2022. – Москва: Система стандартов безопасности труда, 2021. – 469 с.

56. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: дата введения 2009-05-01. – Москва: Государственный комитет стандартов, 2009. – 31 с.

## Приложение А

(обязательное)

### Социальная ответственность

Таблица А.1 – Нормативные показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения электропомещения

Помещения	Плоскость (Г - горизонтальная, В - вертикальная) нормирования освещенности и КЕО, высота плоскости над полом, м	Разряд и под-разряд зрительной работы	Искусственное освещение		Объединенный показатель дискомфорта UGR, не более	Коэффициент пульсации освещенности, %, не более
			Освещенность рабочих поверхностей, лк при комбинированном освещении	при общем освещении		
1	2	3	4	5	6	7
Помещения распределительных устройств, диспетчерские, операторные (электрощитовые): а) с постоянным дежурством персонала	Г - 0,8 Г - стол оператора Г, В - 1,5 - пульт управления, шкала приборов В - 1,5 - задняя сторона щита	IVГ** IIIв IVГ	- 750 -	200 300 200	25 25 25	20 15 20

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
б)с периодическим пребыванием людей	Г - 0,8 Г, В - 1,5 - пульт управления, шкала приборов В - 1,5 - задняя сторона щита	IVГ**	-	200	25	20
		IIIв	750	300	25	15
		IVГ	-	200	25	20
		VIIIв	-	50	-	-
		IVГ	-	200	25	20
			-	200	-	20
	VIIIв	-	50	-	-	

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пульты, щиты управления: а) в помещениях: -с измерительной аппаратурой  -без измерительной аппаратуры б) вне зданий	Г - 0,8 В - 1,5 - шкала приборов	IV <sub>Г</sub> **	-	200	-	20	-	-	-	-
	Г - 0,8; В - 1,5 - рычаги, рукоятки	VI	-	200	-	20	-	-	-	-
	В - 1,5 - рычаги, рукоятки	XII	-	100	-	-	-	-	-	-