

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Модернизация теплообменного блока установки комплексной подготовки газа
УДК 004.896:622.279.8-048.45

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т72	Шевелёв Иван Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Сидорова Анастасия Александровна			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко Ольга Юрьевна	д.м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Воронин Александр Васильевич	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде.
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах).
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов.
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности.
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности.
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью.

Код компетенции	Наименование компетенции
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования.
ПК(У)-2	Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий.
ПК(У)-3	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств.
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования.
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа.
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем.

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством.
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления.
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления.
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования.
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством.
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами.
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций.

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством.
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения.

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Уровень образования – Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – осенний/весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2022	Основная часть	60
30.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
30.05.2022	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Сидорова Анастасия Александровна			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Воронин Александр Васильевич	к.т.н., доцент		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-8Т72	Шевелёву Ивану Алексеевичу

Тема работы:

Модернизация теплообменного блока установки комплексной подготовки газа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№47-7/с от 16.02.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>Объект исследования: Автоматизированная система управления теплообменным блоком установки комплексной подготовки газа. Цель работы: Модернизация системы управления путем замены устаревшего оборудования. Режим работы: Непрерывный.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Описание технологического процесса. 2. Модернизация существующих решений. 3. Разработка структурной схемы автоматизированной системы. 4. Разработка функциональной схемы автоматизации. 5. Выбор средств автоматизации. 6. Разработка схем соединения внешних проводов.

	7. Разработка алгоритмов управления. 8. Разработка экранных форм.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Структурная схема автоматизированной системы. 2. Функциональная схема автоматизации. 3. Схема соединений внешних проводок. 4. Блок-схемы алгоритмов управления. 5. Экранные формы.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Верховская Марина Витальевна, доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Федоренко Ольга Юрьевна, профессор ООД ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.02.2022
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Сидорова Анастасия Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т72	Шевелёв Иван Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Студенту:

Группа 3-8Т72		ФИО Шевелёву Ивану Алексеевичу	
Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли

Тема ВКР:

Модернизация теплообменного блока установки комплексной подготовки газа	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- оклад инженера – 23413,15 руб. в месяц; - оклад руководителя проекта – 29851,54 руб. в месяц; - тариф на электроэнергию – 5,748 руб./кВт*ч.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- накладные расходы 16%;
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- коэффициент отчислений во внебюджетные фонды 27,1%
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Расчет инновационного потенциала НТИ	- SWOT-анализ; - Анализ конкурентных технических решений
2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	- расчет материальных затрат; - расчет основной и дополнительной заработной платы; - расчет отчислений во внебюджетные фонды; - расчет бюджета проекта.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Матрица SWOT	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.04.2022

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т72	Шевелёв Иван Алексеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 3-8Т72		ФИО Шевелёву Ивану Алексеевичу	
Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли

Тема ВКР:

Модернизация теплообменного блока установки комплексной подготовки газа	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> рабочее место оператора автоматизированной системы управления блоком теплообменников установки комплексной подготовки газа (УКПГ).</p> <p><i>Область применения:</i> газоперерабатывающие заводы</p> <p><i>Рабочая зона:</i> операторская</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 3*5 м</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> персональный компьютер.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль и управление параметрами объекта управления с помощью персонального компьютера с применением SCADA-систем.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022).</p> <p>СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.</p> <p>СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.</p> <p>СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.</p> <p>ГОСТ 22269-76 Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.</p> <p>ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках.</p> <p>ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.</p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Перечень опасных и вредных факторов.</p> <p>ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</p> <p>MP 2.2.9.2311-07. Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности.</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p>	<p>Опасные факторы:</p> <p>1. Производственные факторы, связанные с поражением электрическим током.</p>

– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	Вредные факторы: 1. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 2. Активное наблюдение за ходом производственного процесса. 3. Отклонение показателей микроклимата.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации:	Воздействие на селитебную зону: санитарная зона 1000 м. Воздействие на литосферу: твердые бытовые отходы. Воздействие на гидросферу: сброс сточных вод, пролив газового конденсата. Воздействие на атмосферу: выброс углеводородов. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: средства нормализации воздушной среды (сплит-системы); средства нормализации освещения (потолочное и настольное освещение); устройства защитного отключения; защитные ограждения.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации:	Возможные ЧС: Техногенные аварии (отказ оборудования, систем безопасности; нарушение режима эксплуатации автоматизированной системы управления; выброс углеводородов в атмосферу). Природные катастрофы (наводнения, ураганы). Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории). Наиболее типичная ЧС: выброс углеводородов в атмосферу.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 11.04.2022	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко Ольга Юрьевна	Д.М.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т72	Шевелёв Иван Алексеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 104 страницы машинописного текста, 30 таблиц, 31 рисунок, список использованных источников из 31 наименования, 3 приложения.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, установка комплексной подготовки газа, блок теплообменников, рекуперативные теплообменники, ингибитор гидратообразования, Simple-Scada.

Объектом исследования является автоматизированная система управления теплообменным блоком установки комплексной подготовки газа.

Цель работы – модернизация автоматизированной системы управления теплообменным блоком установки комплексной подготовки газа.

В процессе исследования проводился анализ технологического процесса, расчет расхода ингибитора гидратообразования, разработка структурной схемы автоматизации, выбор средств автоматизации, разработка функциональной схемы автоматизации, схемы соединений внешних проводок, математическое моделирование контура регулирования, разработка SCADA-системы.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: применяемые в проекте полевые средства автоматизации имеют климатическое исполнение, рассчитанное на температуру окружающей среды от минус 50 до плюс 60 °С и имеют взрывобезопасное исполнение.

В данном проекте была выполнена модернизация системы управления технологическим процессом на базе промышленного контроллера WAGO PFC200, с применением SCADA-системы Simple-Scada.

Область применения: разработанная система может применяться для контроля, управления и сбора данных на различных производственных площадках по переработке газа.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	16
1 Описание автоматизированной системы управления	17
1.1 Описание технологического процесса	17
1.1.1 Выбор и расчет расхода ингибитора гидратообразования	19
1.2 Основные задачи и цели модернизации автоматизированной системы управления	20
1.3 Требования к системе и её составным частям	21
1.4 Требования к техническому обеспечению	22
1.5 Требования к программному обеспечению	22
1.6 Требования к метрологическому обеспечению	23
1.7 Требования к информационному обеспечению	24
2 Модернизация автоматизированной системы	25
2.1 Разработка структурной схемы	25
2.2 Модернизация полевого уровня	26
2.2.5 Выбор дроссельного устройства	34
2.3 Модернизация среднего уровня	39
2.4 Разработка функциональной схемы	44
2.5 Разработка схемы соединений внешних проводок	45
2.6 Модернизация верхнего уровня	46
2.6.1 Описание SCADA-системы	47
2.6.2 Разработка алгоритмов управления	48
2.6.3 Разработка экранных форм	50
2.6.5 Настройка трендов	53
3 Математическое описание контура регулирования	55
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
4.1 Анализ конкурентных технических решений	60
4.2 SWOT-анализ	62
4.3 Бюджет научно-технического исследования	64
	13

4.3.1 Расчет материальных затрат	64
4.3.2 Расчет амортизационных отчислений	65
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	66
4.3.4 Дополнительная заработная плата	68
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды	68
4.3.6 Накладные расходы	69
4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	70
4.4 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования	70
4.4.1 Определение финансовой эффективности исследования	70
4.4.2 Определение ресурсоэффективности исследования	71
4.4.3 Определение эффективности исследования	72
4.5 Вывод по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение	73
5 Социальная ответственность	75
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
5.2 Производственная безопасность	77
5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов	78
5.4 Экологическая безопасность	81
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
5.6 Вывод по разделу социальная ответственность	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	86
Приложение А (обязательное) Функциональная схема автоматизации	90
Приложение Б (обязательное) Схема соединений внешних проводок	94
Приложение В (обязательное) Блок-схема алгоритмов управления	104

Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

УКПГ – установка комплексной подготовки газа;

НТС – низкотемпературная сепарация;

АС – автоматизированная система;

БТ – блок теплообменников;

ОУ – объект управления;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

ПО – программное обеспечение;

БП – блок питания;

ИМ – исполнительный механизм;

НКПР - нижний концентрационный предел распространения пламени.

ВВЕДЕНИЕ

Установка комплексной подготовки газа (УКПГ) – это комплекс технологического оборудования и вспомогательных систем, обеспечивающих сбор и обработку природного газа и газового конденсата. В состав УКПГ входят: блок предварительной очистки; технологические установки очистки, осушки и охлаждения газа; дожимные компрессорные станции, а также вспомогательные системы производственного назначения [1].

Одним из методов подготовки газа является низкотемпературная сепарация (НТС). Для осуществления этого метода необходимо, как следует из названия, обеспечивать низкую температуру газа, подводимого на сепараторы. Понижение температуры реализуется при помощи теплообменников и дросселирования газа на входе в сепараторы.

В данной выпускной квалификационной работе будет рассмотрена модернизация автоматизированной системы управления теплообменным блоком установки комплексной подготовки газа. Теплообменный блок представляет собой рекуперативный теплообменник, дроссельное устройство и дозировочный насос для подачи ингибитора гидратообразования.

Модернизация автоматизированной системы управления подразумевает: замену технологического оборудования на более современное, с применением цифровых протоколов связи; реализацию узла подачи ингибитора гидратообразования с расчетом его расхода; разработку полноценной SCADA-системы взамен системы Web-визуализации.

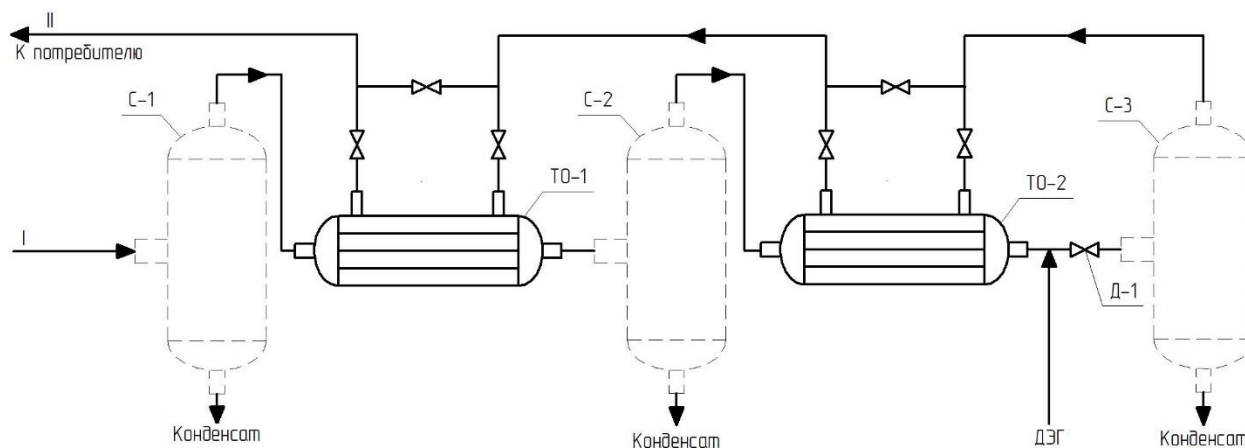
1 Описание автоматизированной системы управления

1.1 Описание технологического процесса

Особенностью протекания процесса низкотемпературной сепарации является то, что давление на входе в установку низкотемпературной сепарации значительно превышает давление, необходимое для подачи в магистральные газопроводы. Поэтому избыточное давление газа в данном процессе используется для получения низких температур, необходимых для отделения конденсата в ходе процесса сепарации [8].

Принцип низкотемпературной сепарации состоит в конденсации углеводородов при понижении температуры газа до низких температур (от минус 15 до минус 25 °С). Охлаждение газа производится его дросселированием [2].

Блок рекуперативных теплообменников установки комплексной подготовки газа (рисунок 1.1) участвует в охлаждении газа перед подачей на низкотемпературные сепараторы и является неотъемлемой частью установки.



С-1...С-3 – сепараторы; ТО-1, ТО-2 – теплообменники; Д-1 – клапан

Рисунок 1.1 – Схема НТС производства газоконденсатных скважин

Газ I под высоким давлением (от 8 до 12 МПа) поступает в сепаратор первой ступени С-1, где от него отделяется тяжелый газовый конденсат. Затем

газ проходит через рекуперативный теплообменник ТО-1, где предварительно охлаждается газом и конденсатом с третьей ступени сепарации С-3. После этого газ поступает в сепаратор второй ступени С-2, где от него также отделяется влага и углеводородный конденсат. Далее газ проходит через теплообменник ТО-2, где охлаждается обратным потоком газа с третьей ступени сепарации С-3. После предварительного охлаждения газ проходит через дроссельное устройство Д-1: давление газа снижается до значений от 4 до 5 МПа и за счет резкого перепада давления температура газа снижается – это объясняется эффектом Джоуля-Томсона. Очищенный в сепараторе 3-й ступени газ II проходит через рекуперативные теплообменники ТО-1 и ТО-2, нагревается и отправляется потребителю [7].

Основные технические характеристики установки подготовки газа приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики теплообменного блока

Наименование характеристики		Значение
Давление, МПа	рабочее	6,3
Температура, °С	минимальная рабочей среды	плюс 4
	максимальная рабочей среды	плюс 40
Среда	наименование	природный газ
Производительность, м ³ /сут		500000
Расход ингибитора гидратообразования, м ³ /час		0,013

В связи с тем, что процесс низкотемпературной сепарации протекает при низких температурах, возникает риск образования гидратов в аппаратах и трубопроводах. Отлагаясь на внутренних стенках труб гидраты резко уменьшают их пропускную способность и могут привести к аварийной остановке технологического процесса [3]. Поэтому в поток газа перед дроссельным устройством подается раствор ингибитора гидратообразования.

1.1.1 Выбор и расчет расхода ингибитора гидратообразования

Роль ингибитора гидратообразования чаще всего выполняют этиленгликоль, диэтиленгликоль и метанол. Ввиду относительно высоких температур замерзания водных растворов этилен- и диэтиленгликоля (минус 35 и минус 10 [4]) в качестве ингибитора гидратообразования был выбран метанол.

Метанол наиболее широко применяемый ингибитор для борьбы с гидратообразованием. Водный 97 %-й раствор метанола обладает высокой степенью понижения температуры гидратообразования и способностью быстро разлагать уже образовавшиеся гидратные пробки [13]. Температура замерзания метанола составляет минус 97,6 °С.

В соответствии с РД 39-1-212-79 «Методика расчета норм расхода метанола для борьбы с гидратообразованием» [13] произведем расчет нормы расхода ингибитора гидратообразования при следующих условиях: начальное давление газа – $P_1 = 6$ МПа (61,183 кгс/см²), конечное давление газа – $P_2 = 2$ МПа (20,394 кгс/см²), начальная температура газа – $t_1 = +10$ °С (283,15 К), конечная температура газа – $t_2 = -15$ °С (258,15 К), расход газа – $Q = 500000$ м³/сут, концентрация метанола – $C_1 = 97$ %.

По графику на рисунке 1 [13] определяется влагосодержание газа в начале W_1 и в конце W_2 участка газопровода:

$$W_1 = 0,15 \text{ кг/1000 м}^3,$$

$$W_2 = 0,05 \text{ кг/1000 м}^3.$$

По графику на рисунке 2 [13] определяется температура гидратообразования в конце участка трубопровода:

$$t_{\text{гидр}} = 6,5 \text{ °С.}$$

Величина понижения равновесной температуры гидратообразования определяется по следующей формуле:

$$\Delta t = t_{\text{гидр}} - t_2, \quad (1.1)$$

$$\Delta t = 6,5 - (-15) = 21,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

По графику на рисунке 3 [13] определяется весовой процент метанола в жидкой фазе при $\Delta t = 21,5 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$C_2 = 32 \text{ } \%$$

По графику на рисунке 4 [13] определяется величина α , которая равна

$$\alpha = 0,012 \text{ кг/1000 м}^3.$$

Определяется норма расхода метанола по формуле:

$$g_m = \frac{W_1 - W_2}{C_1 - C_2} * C_2 + C_2 * \alpha, \quad (1.2)$$

$$g_m = \frac{0,15 - 0,05}{97 - 32} * 32 + 32 * 0,012 = 0,43 \text{ кг/1000 м}^3.$$

С учетом 20% запаса нормы расхода метанола:

$$g_m = 0,516 \text{ кг/1000 м}^3.$$

Пересчитывается норма расхода метанола из килограмм в кубические метры при удельном весе технического 97%-го метанола, равном 0,807 кг/л:

$$g_m = \frac{0,516}{0,807} = 0,64 \text{ л/1000 м}^3.$$

Суточный расход метанола составит

$$g_m^{\text{сут}} = g_m * Q = 0,64 * 500 = 320 \text{ л/сутки}.$$

1.2 Основные задачи и цели модернизации автоматизированной системы управления

К основным задачам и целям модернизации автоматизированной системы управления блоком теплообменников УКПГ относятся:

1. внедрение SCADA-системы;
2. обеспечение дистанционного контроля и управления параметрами технологического процесса;
3. возможность оперативного реагирования на изменение контролируемых параметров;

4. возможность определения причин поломок устройств, входящих в систему автоматического управления, без необходимости отправки оперативного персонала на объект;
5. повышение эффективности технологического процесса, повышение качества конечного продукта;
6. повышение качества условий труда рабочего персонала.

1.3 Требования к системе и её составным частям

Автоматизированная система должна иметь иерархическую структуру и производить обмен данными согласно стандартизованных протоколов.

Система автоматизации блока теплообменников установки комплексной подготовки газа должна обеспечивать контроль следующих технологических параметров:

1. температура газожидкостной смеси на входе и выходе из трубного пространства теплообменника;
2. температура газожидкостной смеси на выходе дроссельного устройства;
3. температура очищенного газа на входе межтрубное пространство теплообменника;
4. температура очищенного газа, направляющегося к потребителю;
5. давление газожидкостной смеси на входе в трубное пространство теплообменника;
6. давление очищенного газа на входе в межтрубное пространство теплообменника;
7. расход газожидкостной смеси на входе в трубное пространство теплообменника;
8. расход очищенного газа, направляющегося к потребителю;
9. расход ингибитора гидратообразования;

10. концентрация метана на технологической площадке;
11. положение дроссельного устройства и клапанов.

В качестве исполнительных устройств при модернизации теплообменного блока установки комплексной подготовки газа должен быть произведен выбор:

1. дроссельного устройства;
2. запорно-регулирующих клапанов.

Структура АС должна обеспечивать выполнение функций контроля и управления технологическим процессом. Оборудование КИПиА должно выбираться согласно проведенным техническим исследованиям.

1.4 Требования к техническому обеспечению

При выборе оборудования, используемого в автоматизированной системе, следует учитывать климатические и пожаро-взрывоопасные условия технологической площадки.

Датчики и исполнительные устройства, расположенные непосредственно на технологической площадке, должны иметь соответствующий уровень взрывобезопасности.

Промышленный контроллер должен иметь модульное исполнение для реализации подходящего количества каналов ввода-вывода и возможности расширения системы в будущем. Также модульность промышленного контроллера позволяет производить быструю замену вышедших из строя модулей ПЛК.

1.5 Требования к программному обеспечению

Программное обеспечение для работы автоматизированной системы должно включать в себя:

1. системное ПО (операционные системы Windows XP и выше).

Набор функций конфигурирования в общем случае должен включать в себя:

1. создание и ведение базы данных со значениями входных/выходных параметров;
2. конфигурирование алгоритмов управления, регулирования и защиты;
3. наличие мнемосхем или экранных форм для визуализации состояния технологических объектов.

Средства создания прикладного ПО должны включать в себя технологические и универсальные языки программирования и соответствующие средства разработки (компиляторы, отладчики).

Технологические языки программирования должны соответствовать стандарту ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 «Контроллеры программируемые. Языки программирования» [31].

1.6 Требования к метрологическому обеспечению

Для приборов контроля за технологическими параметрами устанавливаются следующие требования по относительной погрешности измерений:

- приборы для измерения температуры газожидкостной смеси и газа – класс допуска не ниже «В»;
- приборы для измерения давления газожидкостной смеси и газа – не более 1 %;
- приборы для измерения расхода - не более 2,5 %;
- приборы для измерения концентрации метана на технологической площадке – не более 5 %;

– приборы для измерения положения дроссельного устройства и запорно-регулирующей арматуры – не более 2,5 %.

1.7 Требования к информационному обеспечению

Информационное обеспечение – это создание информационных условий функционирования системы, обеспечение необходимой информацией, включение в систему средств поиска, получения, хранения, накопления, передачи, обработки информации, организация банков данных.

В данном проекте необходимо иметь визуальное представление об автоматизированном процессе на АРМ оператора, которое бы содержало все перечисленные параметры технологического процесса с отображением физических параметров в реальном времени и имело возможность воздействия на эти параметры.

2 Модернизация автоматизированной системы

2.1 Разработка структурной схемы

Структурная схема определяет основные функциональные части автоматизированной системы, их назначение и взаимосвязи. Структурная схема системы управления теплообменным блоком УКПГ приведена на рисунке 2.1.

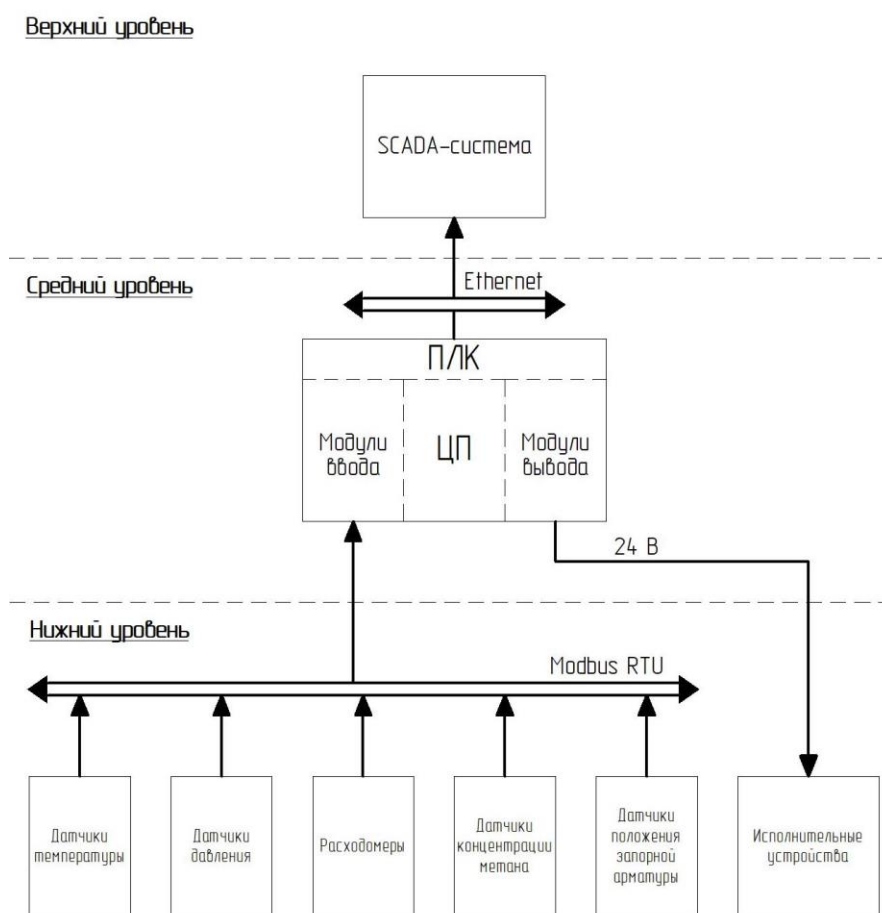


Рисунок 2.1 – Структурная схема автоматизированной системы

Нижний уровень системы состоит из первичных средств автоматизации, таких как:

- датчики давления;
- датчики температуры;
- датчики расхода;

- датчики концентрации;
- датчики положения запорной арматуры;
- запорная арматура.

На нижнем уровне АС реализуются следующие функции:

- преобразование и передача значений измеряемых параметров;
- управление положением запорной арматуры.

Средний уровень АС содержит в себе ПЛК с модулями ввода/вывода, который выполняет следующие операции:

- сбор, хранение, обработка информации, поступающей с нижнего уровня системы;
- формирование управляющих воздействий для управления положением запорной арматуры.

Верхний уровень АС состоит из:

- АРМ оператора;
- SCADA-системы;
- базы данных.

Верхний уровень АС реализует следующие функции:

- обеспечение связи со средним уровнем;
- сбор и обработка информации, поступающей с ПЛК;
- формирование отчетов, журналов событий, графиков и т.п.;
- формирование и ведение базы данных;
- отображение состояния и предоставление возможности управления технологическими процессами в реальном времени.

2.2 Модернизация полевого уровня

В предыдущем решении автоматизированной системы использовались полевые устройства с выходным унифицированным сигналом (4 – 20) мА. При передаче сигнала таким способом отсутствует возможность централизованной

диагностики и конфигурирования устройств. Для осуществления перечисленных операций диспетчеру необходим непосредственный доступ к устройству на технологической площадке. На это затрачивается много времени и при этом существенно снижается оперативность работы. Для решения этой проблемы будет использована шинная система связи полевых устройств RS-485 с протоколом Modbus RTU.

Modbus – это открытый коммуникационный протокол, основанный на архитектуре *client-server*. Протокол широко применяется в промышленности для организации связи между устройствами. Пример схемы взаимодействия устройств по интерфейсу RS-485 с протоколом Modbus RTU показан на рисунке 2.2.

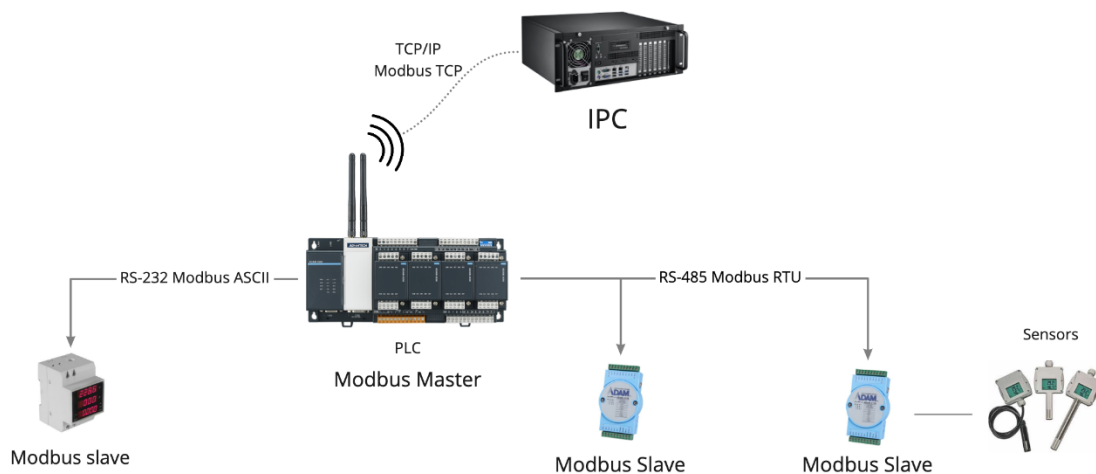


Рисунок 2.2 – Схема связи устройств по протоколу Modbus RTU

Интерфейс RS-485 и протокол Modbus RTU имеет следующие преимущества перед унифицированным токовым сигналом (4 – 20) мА:

- прием и передача данных по одной шине;
- возможность дистанционной настройки устройств-клиентов;
- возможность дистанционной диагностики устройств-клиентов.

Заменяя устройства с токовым сигналом (4 – 20) мА на устройства с интерфейсом связи RS-485 и протоколом Modbus RTU можно снизить затраты на кабельную продукцию, монтажные работы и освободить место в кабельных

лотках. К одной шине связи может быть подключено до 256 устройств. На рисунке 2.3 показано сравнение шинной связи с токовой петлёй.

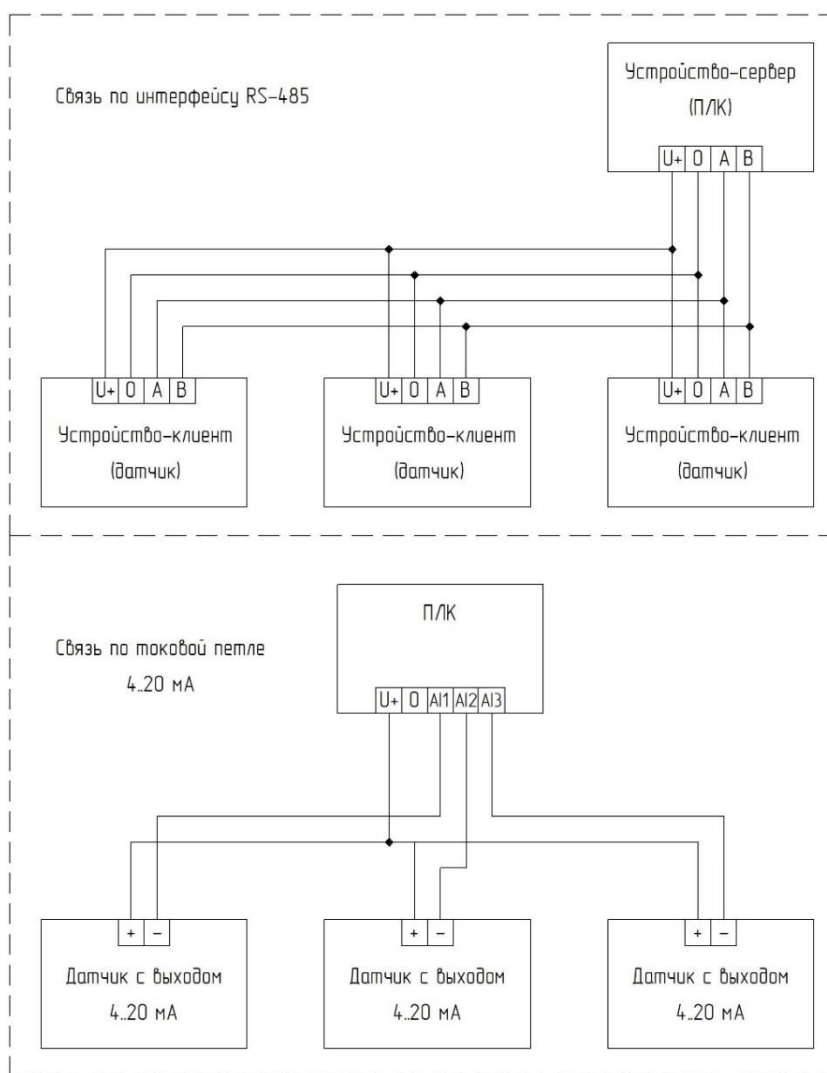


Рисунок 2.3 – Сравнение связи по интерфейсу RS-485 с токовой петлей

Сама шина представляет собой кабель, в котором используется 4 проводника, свитых парами между собой определенным способом. Такой кабель называют «витая пара».

Результатом внедрения данного решения является повышение надежности и безопасности системы автоматического управления, расширение возможностей диагностики и контроля работоспособности полевых устройств.

2.2.1 Выбор средств измерения температуры

Ввиду особенностей технологического процесса диапазон измерения температуры должен включать отрицательную температуру. Наиболее часто применяемым и подходящим средством измерения различных диапазонов температуры является термометр сопротивления. Термометры сопротивления могут измерять как положительные, так и отрицательные температуры и более просты в использовании и подключении.

Выбор будет производиться между термометрами сопротивления ОВЕН ДТС035М.РС и ЭЛЕМЕР ТПУ 0304/М3-МВ. Сравнительные характеристики сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Сравнение характеристик термометров сопротивления

Наименование датчика / параметр	ОВЕН ДТС125М.РС	ЭЛЕМЕР ТПУ 0304/М3-МВ
Номинальная статическая характеристика	Pt100	Pt100
Диапазон измеряемых температур, °С	от минус 60 до плюс 500	от минус 60 до плюс 200
Класс точности	В	В
Показатель тепловой инерции, с	30	15
Интерфейс связи	RS-485 (Modbus RTU)	RS-485 (Modbus RTU)
Степень защиты	IP65	IP65
Взрывобезопасное исполнение	Exd	1ExdIICT6
Средняя наработка на отказ, часов	35000	50000
Межповерочный интервал, лет	3	5
Стоимость, рублей	12250	15400

Проанализировав представленные в таблице характеристики и учитывая особенности технологического процесса, для измерения температуры был выбран термометр сопротивления ЭЛЕМЕР ТПУ 0304/М3-МВ. Он отличается меньшим показателем тепловой инерции, большей наработкой на отказ и большим межповерочным интервалом. Внешний вид термометра сопротивления показан на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Термометр сопротивления ЭЛЕМЕР ТПУ 0304/МЗ-МВ

2.2.2 Выбор средств измерения давления

По условиям, перечисленным в техническом задании, для измерения давления газожидкостной смеси и газа необходимо применять датчики с относительной погрешностью измерений не более 1 %.

Выбор приборов для измерения давления будет произведен среди следующих датчиков: Yokogawa EJX-A, Метран-150, ЭЛЕМЕР АИР-20. Результаты сравнения приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Сравнение характеристик датчиков давления

Наименование датчика / параметр	Yokogawa EJX-A	Метран-150	ЭЛЕМЕР АИР-20
Измеряемая среда	Газ, жидкость	Газ, жидкость, пар	Газ, жидкость, пар
Диапазон пределов измерений, МПа	(0 – 25)	(0 – 25)	(0 – 60)
Предел допускаемой погрешности, %	0,05	0,15	0,1
Интерфейс связи	RS-485 (Profibus, Modbus RTU)	RS-485 (Modbus RTU)	RS-485 (Modbus RTU)
Степень защиты	IP67	IP65	IP65
Взрывозащищенность	1ExdIICT6	ExdIICT5	1ExdIICT6
Средняя наработка на отказ, часов	40000	35000	45000
Межповерочный интервал, лет	3	5	5
Стоимость, рублей	55000	40000	35000

Проанализировав представленные в таблице характеристики и учитывая особенности технологического процесса, для измерения давления был выбран датчик давления ЭЛЕМЕР АИР-20 (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Датчик давления ЭЛЕМЕР АИР-20

Датчик давления ЭЛЕМЕР АИР-20 обладает необходимым набором функций, удобен в монтаже и настройке, отвечает требованиям безопасности. Имеет большой диапазон измерений, большую наработку на отказ и межповерочный интервал по сравнению с конкурентами.

2.2.3 Выбор средств измерения расхода

По условиям, приведенным в техническом задании, для измерения объемного расхода необходимо применять приборы с относительной погрешностью измерений не более 2,5 %.

Выбор расходомера объемного расхода будет произведен среди следующих датчиков: ЭЛЕМЕР-РВ, Метран-150RFA, Yokogawa ADMAG. Результаты сравнения приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Сравнение характеристик расходомеров

Наименование датчика / параметр	Yokogawa ADMAG	Метран-150RFA	ЭЛЕМЕР-РВ
Измеряемая среда	Газ, жидкость, пар	Газ, жидкость, пар	Газ, жидкость, пар
Диапазон пределов измерений, м ³ /ч	(0 – 150000)	(0 – 65000)	(0 – 847800)
Предел допускаемой погрешности, %	2,5	2,5	1,5
Интерфейс связи	RS-485 (Profibus, Modbus RTU)	RS-485 (Modbus RTU)	RS-485 (Modbus RTU)
Степень защиты	IP65	IP65	IP67
Взрывозащищенность	1ExdIICT6	ExdIICT5	1ExdIICT6
Средняя наработка на отказ, часов	100000	75000	150000
Межповерочный интервал, лет	3	5	4
Стоимость, рублей	85000	70000	75000

Проанализировав представленные в таблице характеристики и учитывая особенности технологического процесса, для измерения объемного расхода был выбран расходомер ЭЛЕМЕР-РВ (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Расходомер ЭЛЕМЕР-РВ

Расходомер ЭЛЕМЕР-РВ обладает повышенной точностью измерений, высокими показателями надежности, большим диапазоном измерений, лучшей пылевлагозащитой и взрывобезопасным исполнением.

2.2.4 Выбор газосигнализаторов

Газосигнализаторы предназначены для непрерывного автоматического измерения дозврывоопасной концентрации горючих газов и паров, в том числе паров нефтепродуктов в атмосфере.

Применяются в современных системах контроля загазованности на объектах гражданского строительства, химической и нефтехимической промышленности, в машиностроении и судостроении.

Основные объекты эксплуатации: автомобильные (газовые) заправочные станции, нефтебазы, хранилища газа, нефте- и газоперерабатывающие предприятия и т. п.

Выбор газосигнализаторов будет производиться из датчика ГСМ-05 от компании ТЭК и СЕНС СГ-А1 от компании НПП «СЕНСОР».

Таблица 2.6 – Сравнение характеристик газосигнализаторов

Наименование датчика / параметр	ГСМ-05	СЕНС СГ-А1
Определяемые газы	130 наименований	метан, пропан, бутан, гексан
Диапазон измерений, % НКПР	от 0 до 50 (от 0 до 100)	от 0 до 100
Межповерочный интервал, мес	12	24
Количество порогов сигнализации	2	5
Предел допускаемой погрешности, % НКПР	5	3
Интерфейс связи	RS-485 (Modbus RTU)	RS-485 (Modbus RTU, Profibus)
Температура эксплуатации, °С	от минус 60 до плюс 50	от минус 60 до плюс 60
Полный срок службы, лет	10	15
Стоимость, рублей	85000	45000

Исходя из данных в таблице 2.7 можно выделить преимущества газосигнализатора СЕНС СГ-А1 (рисунок 2.7) перед ГСМ-05:

- большее количество порогов срабатывания;
- меньшая абсолютная погрешность изменений;

- более высокая температура эксплуатации;
- более продолжительный срок службы;
- большой промежуток межповерочного интервала.



Рисунок 2.7 – Газосигнализатор СЕНС СГ-А1

Преимущества ГСМ-05 перед СЕНС СГ-А1 заключаются в большем количестве измеряемых газов.

Так же стоит отметить конструктивные особенности газоанализаторов. Газосигнализатор СЕНС СГ-А1 содержит в едином корпусе измерительный, вычислительный и коммуникационный блоки. На лицевой панели прибора располагаются светодиодные индикаторы, сообщающие о работе прибора, превышении концентрации и сбое в работе, а также семисегментный индикатор, показывающий текущую концентрацию вещества. Газосигнализатор ГСМ-05 представляет собой отдельный чувствительный элемент без индикации и вторичный прибор, который должен располагаться во взрывобезопасной зоне.

2.2.5 Выбор дроссельного устройства

Для охлаждения газа, подаваемого на сепаратор третьей ступени, в проекте будет применяться регулирующий клапан Джоуля-Томсона, который значительно снижает давление газа, тем самым обеспечивая требуемое

охлаждение. Вследствие повышенного перепада давления клапаны могут подвергаться воздействию избыточного шума. Клапан также подвергается воздействию очень низких температур и должен быть изготовлен из соответствующих материалов, чтобы обеспечивать непрерывное дросселирование до требуемых температур.

Дроссельными устройствами могут быть клапаны различных конструкций, но наиболее часто применяемыми с целью понижения температуры газов, стали седельные клапаны. Это объясняется их конструктивными особенностями, в частности, они выдерживают большой перепад давлений.

В качестве дроссельных устройств могут быть применены следующие регулирующие клапаны: Fisher ET NPS 16, АВАНГАРД КР 25лс98нж. Сравнительные характеристики клапанов приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Сравнительные характеристики дроссельных устройств

Наименование клапана / параметр	АВАНГАРД КР 25лс98нж	Fisher ET NPS 12
Рабочая среда	Природный газ, нефтепродукты, нефть	Природный газ, вода, нефть, нефтепродукты
Температура рабочей среды, °С	от минус 60 до плюс 425	от минус 46 до плюс 232
Температура окружающей среды, °С	от минус 60 до плюс 50	от минус 60 до плюс 50
Номинальное давление, МПа	6,3	6,3
Наработка на отказ, часов	220000	240000
Стоимость, рублей	180000	190000

Проанализировав сравнительные характеристики дроссельных устройств, для регулирования температуры природного газа будет использован клапан Fisher ET NPS 12 (рисунок 2.8).

Регулирующие клапаны Fisher используются для дросселирования широкого спектра газов и непосредственно для снижения температуры газов. Такой вид клапанов называют клапанами Джоуля-Томсона, потому что они используют одноименный эффект. Эффект Джоуля-Томсона – это физический

процесс изменения температуры газа или жидкости при протекании газа под действием постоянного перепада давлений через дроссель.



Рисунок 2.8 – Регулирующий клапан Fisher ET NPS 12

Клапан Fisher ET NPS 12 конструктивно представляет собой односедельный клапан. Для снижения уровня шума при прохождении газа через клапан в его конструкции применяются ряд технических особенностей, которые помогают снизить аэродинамический шум.

Как и у всех седельных клапанов, процент открытия регулирующего клапана Fisher ET NPS 12 изменяется посредством перемещения штока вверх/вниз, поэтому для управления таким клапаном необходимо выбрать прямоходный исполнительный механизм.

2.2.6 Выбор исполнительного механизма

В соответствии с техническими требованиями в проекте необходимо управлять дроссельным устройством и запорно-регулирующей арматурой. Для регулирования положения дросселя необходимо использовать исполнительные механизмы с точным позиционированием.

Выбор будет производиться между исполнительными механизмами ЗЭиМ МЭПК и REMATIK URP.

Сравнительные характеристики исполнительных механизмов

представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Сравнение характеристик исполнительных механизмов

Наименование ИМ / параметр	ЗЭиМ МЭПК-6300	REMATIK ULR 2PA-Ex
Макс. нагрузочная сила, Нм	6300	12000
Номинальное время полного хода вых. вала, с	20	40
Предел допускаемой погрешности, %	1,5	2,5
Интерфейс связи	RS-485 (Modbus RTU)	RS-485 (Modbus RTU, Profibus)
Датчики положения	Аналоговый и дискретный крайних и промежуточных положений	Аналоговый и дискретный крайних положений
Степень пылевлагозащиты	IP68	IP67
Маркировка взрывозащиты	1Ex d IIC T4 Gb	1Ex d IIC T4 Gb
Климатическое исполнение	от минус 60 до плюс 60 °С	от минус 50 до плюс 40 °С
Средняя наработка на отказ, часов	50000	40000
Стоимость, рублей	55000	80000

Проанализировав представленные в таблице данные, для регулирования положения заслонки будет выбран исполнительный механизм МЭПК-6300 (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – МЭПК-6300

Этот исполнительный механизм имеет большой номинальный крутящий момент, высокую степень защиты, взрывобезопасное исполнение, более гибкое климатическое исполнение, большую наработку на отказ и надежность. Также датчику положения данного исполнительного механизма не требуется наличие отдельного источника питания. Контрольно-измерительный блок КИМ2 имеет встроенный источник питания 24 В постоянного тока.

2.2.7 Выбор дозирующего насоса

Для дозированной подачи метанола в участок трубопровода, где наблюдается повышенное образование гидратов, в системе автоматического управления будет применяться дозирующий насос. Рассчитанный расход метанола составляет 18 литров в час.

Выбор будет производиться среди дозирующих насосов ETATRON ST-P AA и АРЕОПАГ НДЭ АР50.3. Сравнительные характеристики насосов сведены в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 – Сравнение характеристик исполнительных механизмов

Наименование насоса / параметр	ETATRON ST-P AA	АРЕОПАГ НДЭ АР50.3
Подача, л/час	(6 – 160)	(0,4 – 400)
Противодавление, МПа	2,5	(0,25 – 40)
Мощность, кВт	0,25	0,25
Способ регулирования подачи	ручной/дистанционный	ручной/дистанционный
Маркировка взрывозащиты	1Ex d IIC T4 Gb	1Ex d IIC T5 Gb
Электропривод	ГУСАР М.В.	МЭО-40/25
Климатическое исполнение	от минус 30 до плюс 50 °С	от минус 50 до плюс 60 °С
Средняя наработка на отказ, часов	40000	50000
Стоимость, рублей	75000	85000

Несмотря на более низкую стоимость дозирующего насоса ETATRON ST-P AA и соответствие техническому заданию по остальным параметрам, АРЕОПАГ НДЭ АР50.3 имеет более гибкую настройку подачи, большую величину противодействия и выигрывает по надежности. Поэтому для дозированной подачи метанола в участок трубопровода будет применен дозирующий насос АРЕОПАГ НДЭ АР50.3 (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Дозировочный насос АРЕОПАГ НДЭ АР50.3

2.3 Модернизация среднего уровня

Вслед за модернизацией полевого (нижнего) уровня следует модернизировать следующий в иерархии – средний уровень. Это обусловлено изменением способа организации связи между данными уровнями. При этом следует избегать лишних промежуточных устройств во избежание проблем, связанных со снижением скорости передачи данных и снижением надежности системы.

При выборе промышленных контроллеров необходимо обращать внимание на следующие аспекты:

- наличие встроенных входов-выходов;

- наличие коммутационных портов;
- поддерживаемые промышленные протоколы связи;
- возможность подключения модулей расширения для масштабирования системы автоматизации;
- бесплатная среда разработки.

Для решения поставленных задач автоматизации к рассмотрению предлагаются следующие промышленные контроллеры: Siemens Simatic S7-1200, Schneider Electric Modicon M238 и WAGO PFC200. Сравнение основных характеристик приведено в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Сравнение характеристик ПЛК

Характеристика/ ПЛК	Siemens Simatic S7-1200	Schneider Electric Modicon M238	WAGO PFC200
Возможность модульного расширения	Да	Да	Да
Встроенные каналы ввода/вывода	Да	Да	Нет
Максимальное количество подключаемых модулей расширения	256	7	64
Типы интерфейсов связи	-Ethernet -RS-485 (Modbus, Profibus)	-Ethernet -RS-485 (Modbus, Profibus)	-Ethernet -RS-485 (Modbus RTU)
Время выполнения операций (логических/с плавающей точкой), мкс	0,08/3	0,3/3	0,1/3
Бесплатная среда разработки	Нет	Частично	Да
Наработка на отказ, часов	75000	80000	90000
Температура окружающей среды, °С	от 0 до плюс 45	от минус 10 до плюс 55	от минус 20 до плюс 55
Стоимость, рублей	210000	95000	119000

Для проектируемой автоматизированной системы наиболее подходящим ПЛК будет WAGO PFC200, т.к. у него имеются весь необходимый функционал, большая наработка на отказ центрального процессора есть возможность модульного расширения, а также, в отличие от конкурентов, имеется поддержка бесплатной среды разработки и связи с любым OPC-сервером.

Контроллеры WAGO PFC200 (рисунок 2.11) являются модульными ПЛК, которые предназначены для управления технологическими процессами средней сложности. Такие контроллеры пользуются спросом ввиду своей доступности, наличия широкой линейки модулей центрального процессора, модулей ввода-вывода, компактности и простоты программирования посредством бесплатной среды разработки CoDeSys.



Рисунок 2.11 – Контроллер WAGO PFC200

Питание контроллера может производиться любым блоком питания с выходным напряжением 24 вольта постоянного тока. В проекте будет использован блок питания WAGO Pro 2. Характеристики БП приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Характеристики БП

Наименование характеристики	Значение
Напряжение питания, В	(100 – 240)
Выходное напряжение, В	24
Максимальный ток, А	5
Рабочая температура, °С	от минус 25 до плюс 70

Блок питания изображен на рисунке 2.12.



Рисунок 2.12 – Блок питания WAGO Pro 2

Для обеспечения коммутации выходного напряжения на исполнительные устройства будет использован 8-канальный модуль дискретного вывода WAGO 750-536 с выходным напряжением 24 В. Модуль показан на рисунке 2.13.



Рисунок 2.13 – Модуль дискретного вывода

Для приема дискретных сигналов с датчиков положения, кнопочных постов и прочих дискретных устройств будут использованы 8-канальные модули дискретного ввода WAGO 750-430, рассчитанные на входное напряжение 24 В постоянного тока. Модуль показан на рисунке 2.14.



Рисунок 2.14 – Модуль дискретного ввода

Поскольку в прежнем решении использовались полевые устройства с выходным унифицированным сигналом (4 – 20) мА и для этого использовались модули аналогового ввода WAGO 750-496, их необходимо исключить из системы за ненадобностью.

Связь по интерфейсу RS-485 между контроллером и полевыми устройствами будет производиться встроенным в контроллер модулем связи. При необходимости система может быть расширена с применением модуля сопряжения 750-628 (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 – Модуль сопряжения шины 750-628

2.4 Разработка функциональной схемы

Функциональная схема автоматизации (ФСА) - это проектно-технический документ, в котором определена функциональная структура и объем автоматизации технологических установок и отдельных агрегатов промышленного объекта. Функциональная схема представляет собой чертеж, на котором схематически с использованием специальных условных обозначений изображена: технологическое оборудование; коммуникации и средства автоматизации с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами автоматики, а также связи элементов автоматики между собой [5].

Функциональная схема автоматизации выполнена в соответствии с ГОСТ 21.208-2013 «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах» [11], а также по ГОСТ 21.408-2013 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов (с поправками)» [12]. На рисунке 2.16 показана ФСА без приборов на щитах.

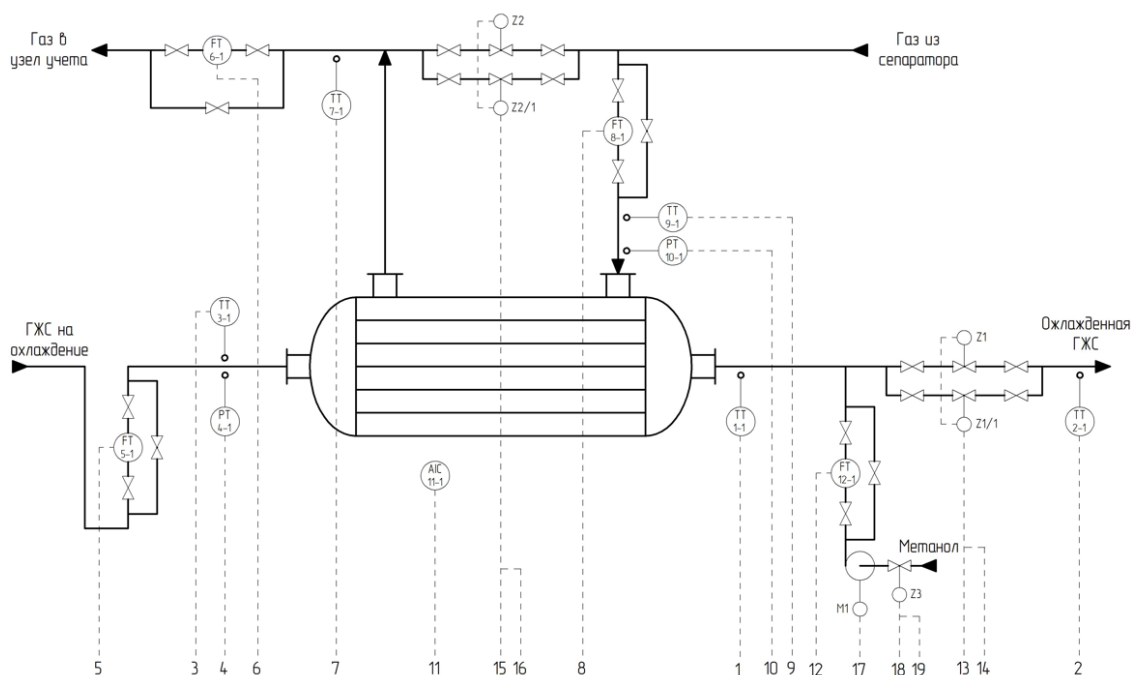


Рисунок 2.16 – Функциональная схема автоматизации

Полная версия функциональной схемы автоматизации приведена в приложении А.

2.5 Разработка схемы соединений внешних проводок

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, которая показывает 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 [30].

В проекте используются датчики, исполнительные механизмы, программируемый логический контроллер и модули расширения ПЛК. Для каждого устройства существует схема электрического подключения, согласно которой следует соединять устройства друг с другом.

Сигналы с датчиков и исполнительных механизмов по контрольным кабелям поступают в клеммные соединительные коробки. Затем кабели подводятся к шкафу управления, где сигналы распределяются по модулям расширения ПЛК посредством распределяющих клемм. Отходящие от модулей дискретного вывода кабели подводятся к щиту оператора на сигнальные лампы. На рисунке 2.17 показана схема соединений внешних проводок для датчиков температуры.

Наименование параметра	Температура				
	Место отбора импульса	Вход в трубное пространство теплообменника	Выход из трубного пространства теплообменника	Вход в межтрубное пространство теплообменника	Выход из межтрубного пространства теплообменника
Тип устройства	ЭЛЕМЕР ТС-1187	ЭЛЕМЕР ТС-1187	ЭЛЕМЕР ТС-1187	ЭЛЕМЕР ТС-1187	ЭЛЕМЕР ТС-1187
Позиция	3-1	1-1	9-1	7-1	2-1

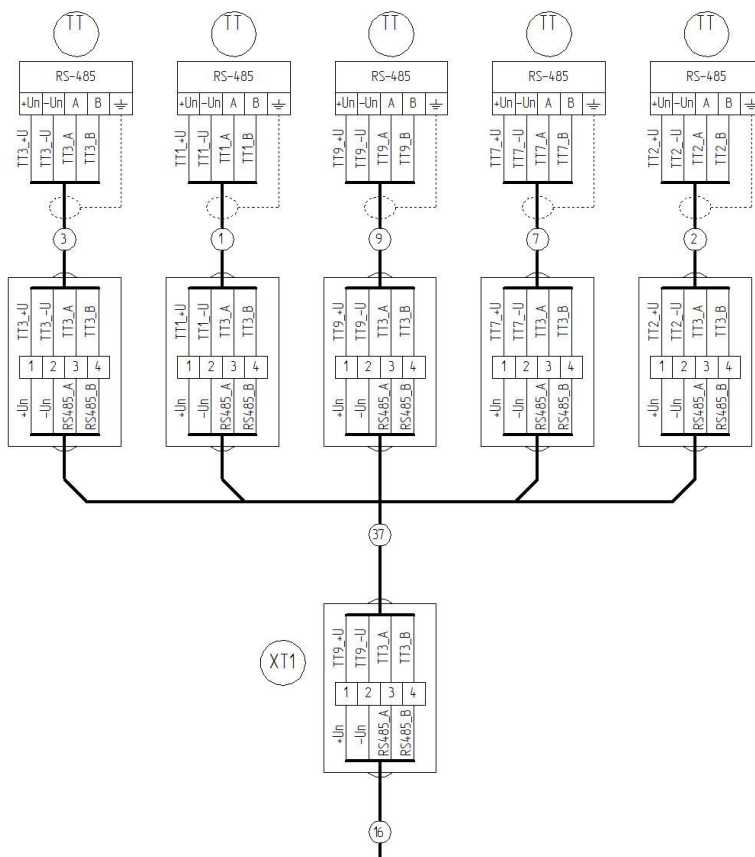


Рисунок 2.17 – Схема соединений внешних проводов для датчиков температуры

Схема соединений внешних проводов, показывающая соединения остальных полевых устройств, приведена в приложении Б.

2.6 Модернизация верхнего уровня

В автоматизированной системе управления теплообменным блоком установки комплексной подготовки газа для дистанционного управления технологическим процессом ранее использовалась Web-визуализация на базе среды разработки CoDeSys. Система Web-визуализации обеспечивала только контроль текущих параметров, не позволяя просматривать архивные данные, в том числе тренды, сообщения об ошибках и действия оператора.

Модернизация автоматизированной системы управления теплообменным блоком установки комплексной подготовки газа заключается в том числе в создании полноценной SCADA-системы. В SCADA-системе помимо дистанционного контроля и управления технологическим процессом будет реализована база данных для хранения значений технологических параметров, действий оператора, сообщений об ошибках, значений уставок и многое другое.

2.6.1 Описание SCADA-системы

Проектирование SCADA-системы будет производиться в среде разработки Simple-Scada. Simple-Scada – это российская SCADA-система, предназначенная для разработки и обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления [9]. Основные особенности Simple-Scada:

- клиент-серверная архитектура с неограниченным количеством клиентов;
- система скриптов с большим набором готовых функций;
- набор компонентов для быстрого создания мнемосхем;
- журнал действий операторов;
- работа с любыми OPC DA/UA серверами;
- звонки, отправка E-mail, отправка и получение SMS, отправка Telegram-сообщений;
- архивирование трендов и сообщений в СУБД MySQL или MS SQL Server.

SCADA-система будет состоять из одного главного экрана, нескольких вспомогательных окон, окна трендов и журнала сообщений.

2.6.2 Разработка алгоритмов управления

В среде разработки Simple-Scada имеется возможность реализации скриптов для обработки различных событий. В проекте будут обрабатываться следующие события:

- отклонение значений технологических параметров от заданных границ;
- отсутствие сигнала с полевых устройств (обрабатывается SCADA-системой автоматически);
- нажатия/наведения курсора мыши на элементы мнемосхемы.

На рисунке 2.18 приведена блок-схема алгоритма сообщения об отклонении значений технологических параметров от уставок.

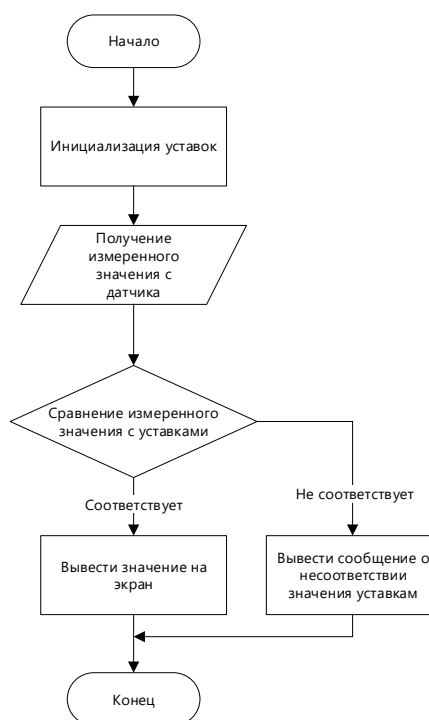


Рисунок 2.18 – Блок-схема алгоритма измерения

Этапы инициализации уставок и получения измеренных значений с полевых устройств проходят внутри проекта, когда он запускается. В таблице 2.9 приведены выводимые сообщения о превышении значений технологических параметров.

Таблица 2.9 – Сообщения о превышении технологических параметров

Контролируемый параметр	Точка контроля	Название переменной сообщения	Описание сообщения
Давление	PT4	HighPT4	Превышение давления на входе в трубное пространство теплообменника [PT4]
	PT10	HighPT10	Превышение давления на входе в межтрубное пространство теплообменника [PT10]
Температура	TT1	HighTT1	Высокая температура газа на выходе из трубного пространства теплообменника [TT1]
	TT2	HighTT2	Высокая температура газа на выходе дросселя Z1 [TT2]
	TT3	HighTT3	Высокая температура газа на входе в трубное пространство теплообменника [TT3]
	TT7	HighTT7	Высокая температура газа, поступающего в узел учета [TT7]
	TT9	HighTT9	Высокая температура газа, в межтрубном пространстве теплообменника [TT9]
	TT1	LowTT1	Низкая температура газа на выходе из трубного пространства теплообменника [TT1]
	TT2	LowTT2	Низкая температура газа на выходе дросселя Z1 [TT2]
	TT3	LowTT3	Низкая температура газа на входе в трубное пространство теплообменника [TT3]
	TT7	LowTT7	Низкая температура газа, поступающего в узел учета [TT7]
	TT9	LowTT9	Низкая температура газа, в межтрубном пространстве теплообменника [TT9]
Концентрация	AIC11	HighAIC11	Превышение концентрации метана на технологической площадке [AIC11]

Оператор мнемосхемы будет иметь возможность дистанционного управления клапанами и насосом-дозатором. Для этого необходимо будет вызвать диалоговое окно, кликнув по изображению клапана или насоса. Блок-схема алгоритма дистанционного управления клапаном Z1 представлена в приложении В.

2.6.3 Разработка экранных форм

Среда разработки Simple-Scada позволяет быстро и удобно создавать мнемосхемы. Благодаря встроенным изображениям аппаратов, механизмов, запорной арматуры, трубопроводов и многого другого можно создать мнемосхему любой сложности.

В рамках данного проекта была реализована мнемосхема теплообменного блока (рисунок 2.20).

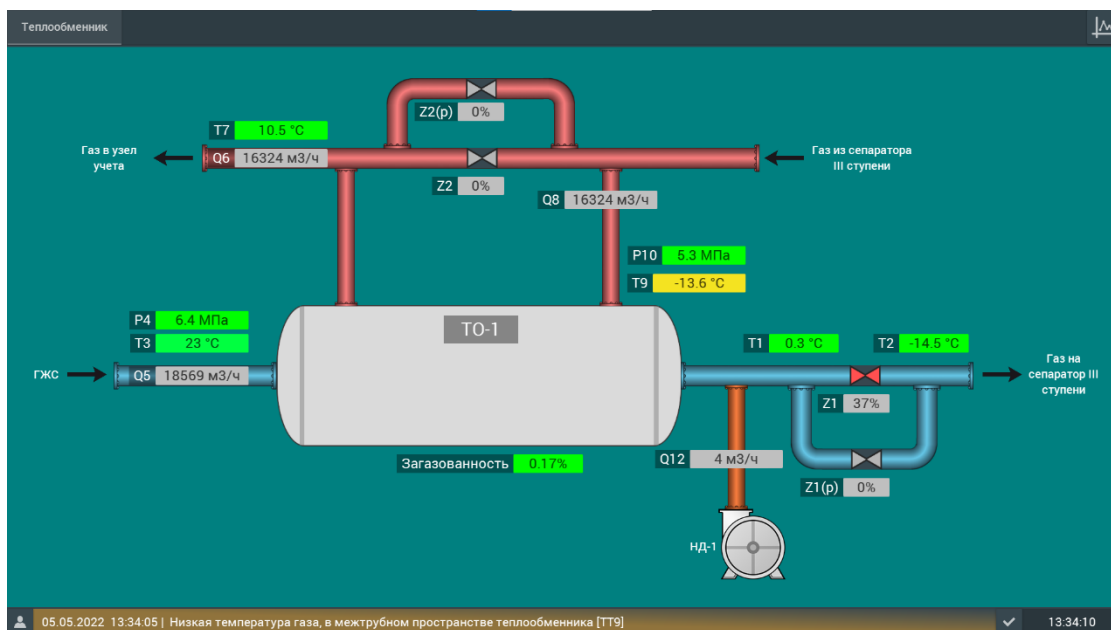


Рисунок 2.20 – Мнемосхема теплообменного блока УКПГ

На мнемосхеме представлен теплообменник ТО-1, дозировочный насос НД-1, дроссель Z1, клапан Z2, а также резервный дроссель Z1 (p) и резервный клапан Z2 (p).

На мнемосхеме контролируются следующие параметры:

- температура газожидкостной смеси (точки T1 – T3);
- температура осушенного газа (точки T7 и T9);
- давление газожидкостной смеси (точка P4);
- давление осушенного газа (точка P10);
- объемный расход газожидкостной смеси (точка Q5);
- объемный расход осушенного газа смеси (точки Q6 и Q8);
- объемный расход ингибитора гидратообразования (точка Q12);
- загазованность технологической площадки;
- положение запорной арматуры (точки Z1, Z1 (p), Z2, Z2 (p)).

Управление запорной арматурой, а также задание температуры газожидкостной смеси, поступающей на сепаратор III ступени производится в окне, показанном на рисунке 2.21.

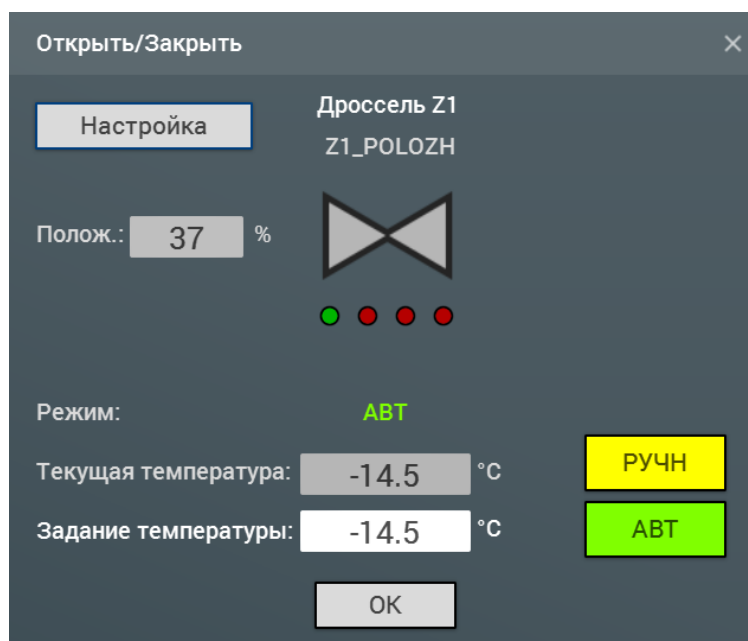


Рисунок 2.21 – Окно управления запорной арматурой

Помимо управления запорной арматурой, в этом окне имеется возможность контроля положения дросселя, режима его работы, а также можно отслеживать значение регулируемого параметра – температуры на выходе дросселя.

Для управления дозировочным насосом оператор может открыть окно, представленное на рисунке 2.22.

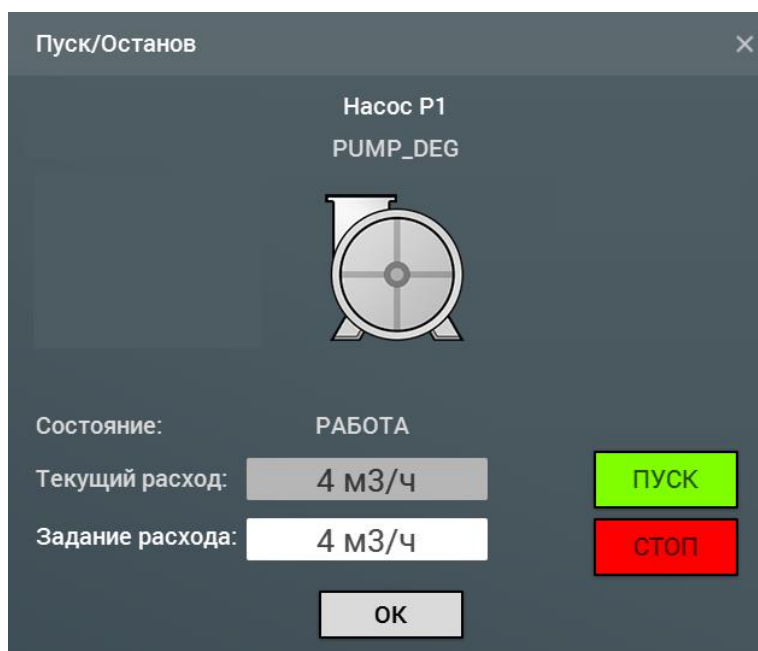


Рисунок 2.22 – Окно управления дозировочным насосом

В этом окне у оператора имеется возможность пуска/останова насоса, а также контроля и задания параметров расхода ингибитора гидратообразования.

Для вызова окон управления запорной арматурой и насосом оператору следует кликнуть левой кнопкой мыши по соответствующему изображению (рисунок 2.23).



Рисунок 2.23 – Изображения насоса и клапана на мнемосхеме

В целях безопасности и для исключения несанкционированного доступа к управлению технологическим процессом была подключена функция авторизации пользователя (рисунок 2.24).

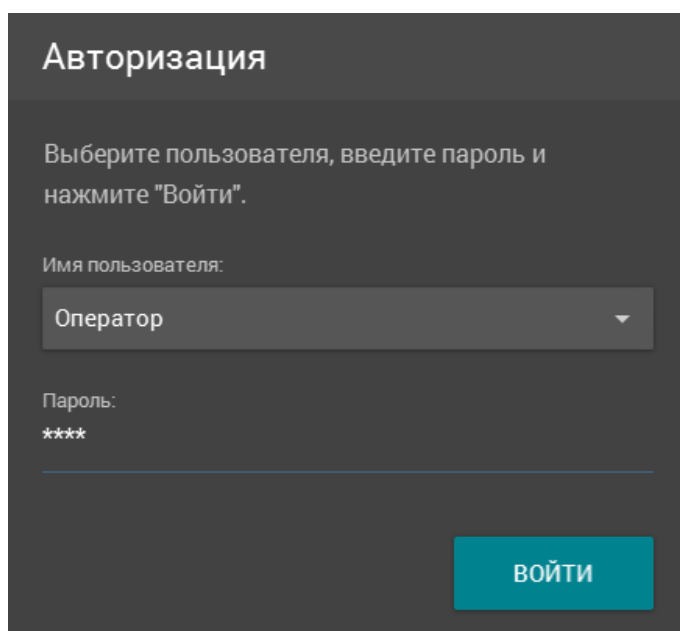


Рисунок 2.24 – Окно авторизации пользователя

Таким образом, войти в систему сможет только оператор, имеющий пароль от своей рабочей среды.

2.6.5 Настройка трендов

Тренды в SCADA-системе необходимы для наблюдения за изменением значений технологических параметров. Тренд в Simple-Scada представляет собой график или систему графиков, по оси X которого откладывается время, по оси Y – значение контролируемой переменной.

Для того, чтобы значение переменной отображалось в тренде её нужно архивировать. Архивация переменной производится в окне «Изменить переменную» (рисунок 2.26) в панели инструментов «Переменные».

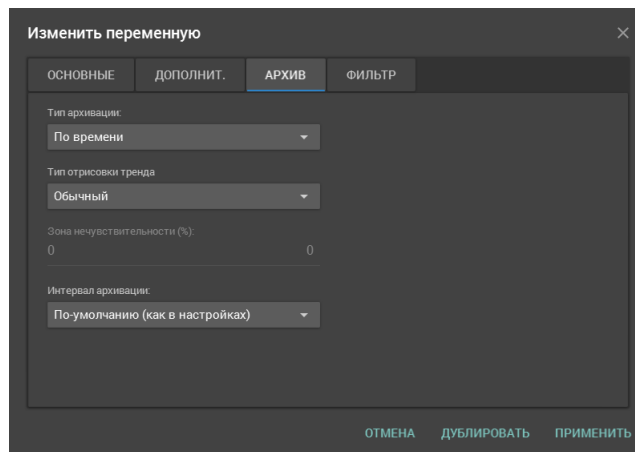


Рисунок 2.26 – Архивация переменной

Переменную можно архивировать по времени или по изменению. Отрисовка тренда может быть обычной (сглаженной) и ступенчатой.

После того, как для всех переменных была настроена архивация, можно приступить к созданию тренда. Для этого необходимо перейти в Проект -> Тренды, после чего откроется окно настройки трендов. В этом окне необходимо добавить все интересующие переменные для данного тренда. В итоге тренд для контроля температуры газожидкостной смеси после запуска проекта в работу будет выглядеть как показано на рисунке 2.27.

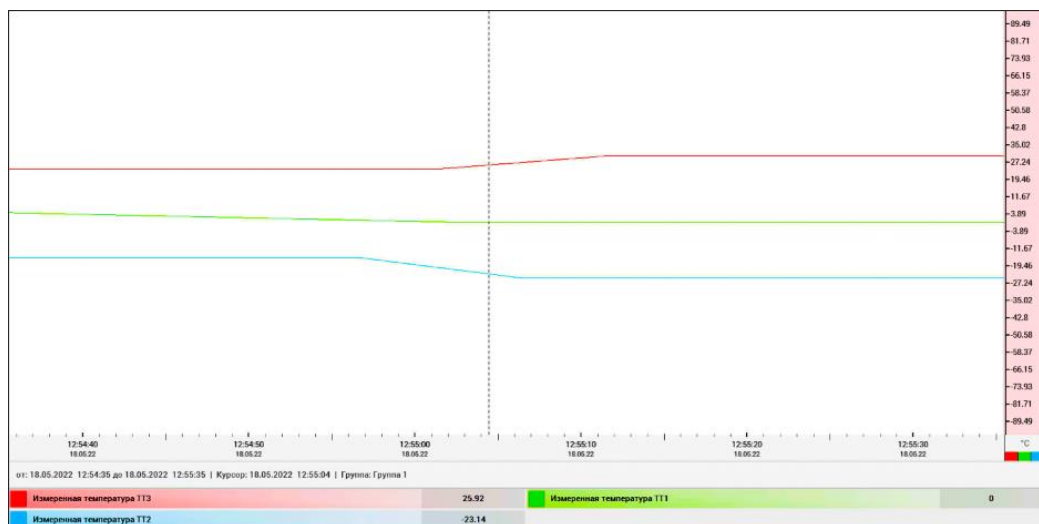


Рисунок 2.27 – Тренд температуры газожидкостной смеси

Действия оператора SCADA-системы архивируются автоматически после настройки базы данных и заносятся в журнал сообщений.

3 Математическое описание контура регулирования

В данном разделе будет рассмотрено математическое описание и моделирование контура регулирования температуры газа, направляющегося на III ступень сепарации.

Регулирование температуры производится дроссельным устройством за счет эффекта Джоуля-Томсона. Контроль температуры производится термометром сопротивления ЭЛЕМЕР ТПУ 0304/МЗ-МВ, изменение положения дроссельного устройства производится прямоходным исполнительным механизмом МЭПК-6300.

Контур автоматического регулирования температуры (рисунок 3.1) состоит из следующих элементов:

- ПИД-регулятор;
- электродвигатель исполнительного механизма;
- редуктор исполнительного механизма;
- дроссель;
- датчик температуры;
- трубопровод.

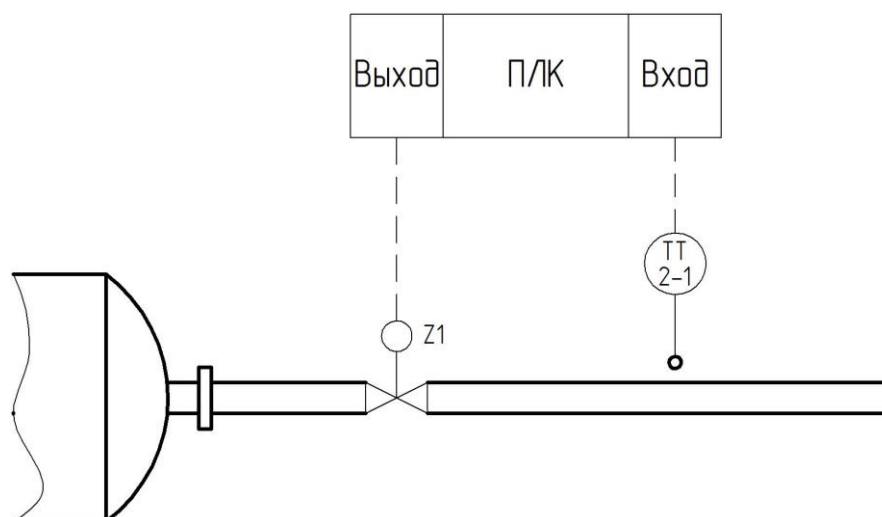


Рисунок 3.1 – Схема контура автоматического регулирования температуры

В устройство исполнительного механизма МЭПК-6300 входят электродвигатель ЗДСОР 135-1,6-150 и редуктор с передаточным отношением $U = 250$.

Электродвигатель работает на частоте $f = 50$ Гц, номинальный момент на валу $M = 1,6$ Н*м, частота вращения $\omega = 150$ об/мин (15,7 рад/с), момент инерции $J = 0,00045$ кг*м².

Передаточная функция электродвигателя имеет вид апериодического звена 1-го порядка [6]:

$$W_{эд}(s) = \frac{k_{эд}}{T_{эд}s+1}. \quad (3.1)$$

Коэффициент передачи электродвигателя:

$$k_{эд} = \frac{\omega}{f} = \frac{15,7}{50} = 0,314 \text{ (рад/с)}. \quad (3.2)$$

Электромеханическая постоянная времени электродвигателя:

$$T_{эд} = \frac{J * \omega}{M} = \frac{0,00045 * 15,7}{1,6} = 0,0044 \text{ (с)}. \quad (3.3)$$

Таким образом:

$$W_{эд}(s) = \frac{0,314}{0,0044s+1}. \quad (3.4)$$

Редуктор представляет собой усилительное звено [6] с коэффициентом усиления $\frac{1}{U}$, где U – передаточное отношение редуктора:

$$W_p(s) = \frac{1}{250} = 0,004. \quad (3.5)$$

Дросселем регулируется температура газа, проходящего через него. Передаточная функция дросселя имеет вид интегрирующего звена [6]. Коэффициент усиления определяется по следующей формуле:

$$k_{др} = \frac{h_{max} - h_{min}}{t_2 - t_1}, \quad (3.6)$$

где h_{max} – максимальное положение дросселя;

h_{min} – минимальное положение дросселя;

t_2 – температура перед дросселем;

t_1 – температура после дросселя.

Таким образом, коэффициент усиления дросселя:

$$k_{др} = \frac{100 - 20}{20 - (-15)} = 1,8. \quad (3.7)$$

Объектом управления является температура в участке трубопровода после клапана. Длина участка трубопровода $L = 10$ м, внешний диаметр $d = 0.219$ м, толщина стенки $h_{ст} = 0,008$ м, пропускная способность $Q = 37520$ м³/ч = 10,4 м³/с, рабочее давление $P_{раб} = 5,5$ МПа = 56,1 кгс/см², перепад давления в трубопроводе $\Delta P = 0,4$ МПа = 40788 кгс/м². Передаточная функция участка трубопровода описывается аperiodическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием [6]:

$$W_{тр}(s) = \frac{k_{тр}}{T_{тр}s + 1} * e^{-\tau*s}, \quad (3.8)$$

где τ – время чистого запаздывания;

$k_{тр}$ – коэффициент усиления трубопровода;

$T_{тр} = \frac{t_{min}}{2}$ – постоянная времени трубопровода.

Площадь сечения трубопровода:

$$S_{тр} = \pi * \left(\frac{d}{2} - h_{ст}\right)^2 = 3,14 * \left(\frac{0.219}{2} - 0.008\right)^2 = 0,032 \text{ м}^2. \quad (3.9)$$

Время чистого запаздывания:

$$\tau = \frac{L}{v} = \frac{L}{(Q/3600)/S_{тр}} = \frac{10}{325,69} = 0,031 \text{ с}. \quad (3.10)$$

Коэффициент усиления трубопровода примем равным единице.

Постоянная времени трубопровода:

$$T_{тр} = \frac{L * (Q/3600) * v}{S_{тр} * \Delta P * g} = \frac{12 * 10.4 * 325.69}{0.032 * 40788 * 9.8} = 2.65 \text{ с}. \quad (3.11)$$

Таким образом, передаточная функция трубопровода имеет вид:

$$W_{тр}(s) = \frac{1}{2,65s + 1} * e^{-0,031*s}. \quad (3.12)$$

Датчик температуры описывается усилительным звеном и имеет коэффициент усиления, равный 1.

На рисунке 3.2 представлена структурная схема автоматической системы регулирования температуры.

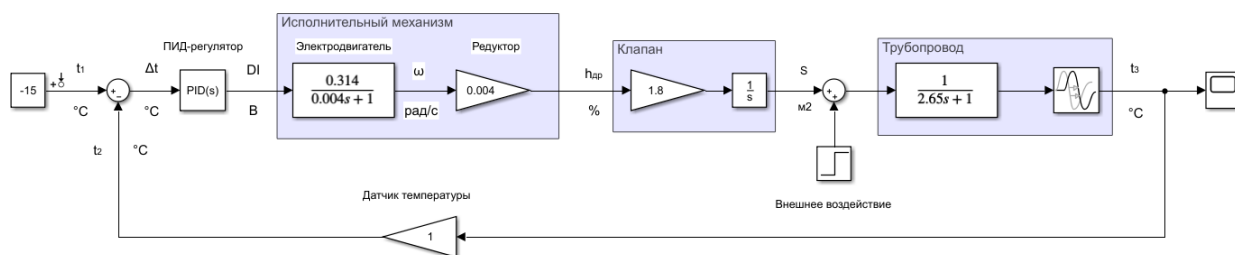


Рисунок 3.2 – Структурная схема САУ температуры

В соответствии с техническим заданием необходимо, чтобы система отвечала следующим требованиям: время регулирования не более 25 секунд, перерегулирование не более 15 %.

Экспериментально были определены параметры ПИД-регулятора с применением метода автоматической настройки в Matlab: $K_p = 30$, $T_i = 0.01$, $T_d = 450$. График переходного процесса показан на рисунке 3.3.

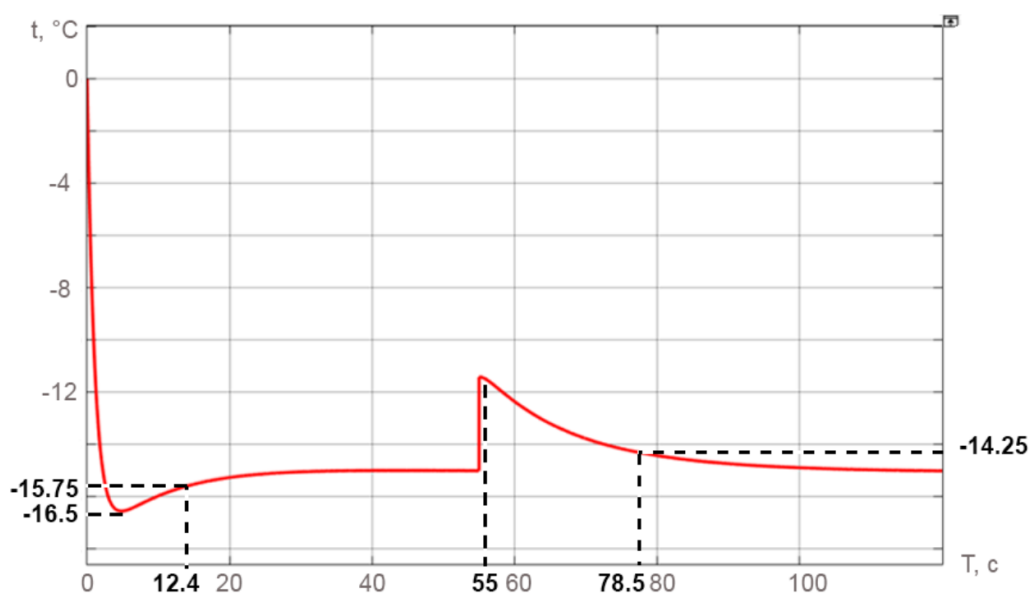


Рисунок 3.3 – График переходного процесса

Из графика видно, что время регулирования составляет 12,4 секунды, перерегулирование 10,3 %. Также на 55 секунде моделирования производится подача возмущающего воздействия, имитирующего внешнее управление положением дросселя в ручном режиме. После подачи возмущающего

воздействия время регулирования составляет 23,5 секунды, а перерегулирование 0 %. Исходя из описанного можно сделать вывод, что настройка регулятора была произведена в соответствии с требованиями.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Задачей данного раздела выпускной квалификационной работы является оценка перспективности разработки проекта, а также планирование его финансовой и коммерческой ценности в рамках научного исследования. Данный раздел предусматривает выполнение следующих задач:

- анализ конкурентных технических решений;
- SWOT-анализ;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования.

В рамках выпускной квалификационной работы рассматривается автоматизированная система управления теплообменным блоком установки комплексной подготовки газа.

4.1 Анализ конкурентных технических решений

Установка комплексной подготовки газа будет оборудована системами мониторинга, контроля и управления, что позволит иметь представление о текущем состоянии технологического процесса. Автоматизированная система контроля и управления отвечает следующим критериям:

- высокая точность – способствует повышению качества конечного продукта;
- надежность – позволяет выполнять заложенные функции оборудования на протяжении долгого времени;
- быстроедействие системы – способствует снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций;

- системы опроса и контроля оборудования – позволяют своевременно обнаруживать вышедшее из строя оборудование;
- удобство оператора – позволяет управлять объектом дистанционно, находясь на безопасном удалении;
- обслуживание системы – требуются квалифицированные специалисты;
- стоимость – вся автоматизированная система имеет среднюю стоимость по рынку.

Оценочная карта конкурентных решений приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Точность	0,3	100	100	1	30
Надежность	0,2	80	100	0,8	16
Быстродействие	0,1	90	100	0,9	9
Безопасность	0,2	90	100	0,9	18
Удобство	0,1	100	100	1	10
Обслуживание	0,05	70	100	0,7	3,5
Стоимость	0,05	70	100	0,7	3,5
ИТОГО	1	600	700	6	90

Средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки определяется по следующей формуле:

$$P_{cp} = \sum V_i * B_i, \quad (4.1)$$

где V_i - вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет оценить перспективы разработки и качество проведенного исследования. Разработка считается перспективной, если значение P_{cp} находится в диапазоне от 100 до 80 единиц. В данном случае разработка считается перспективной, т.к. значение P_{cp} равно 90 единицам.

4.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ эффективен при осуществлении начальной оценки текущей ситуации. Это универсальный метод, который применим в самых разнообразных сферах экономики и управления.

Применение технологии SWOT позволяет выполнить комплексный анализ внешней и внутренней среды проекта и разделить их на четыре составляющие: Сильные стороны (Strengths), Слабые стороны (Weaknesses), Возможности (Opportunities) и Угрозы (Threats).

В таблице 4.2 представлены результаты проведенного SWOT-анализа.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Применение современных технологий С2. Универсальность и гибкость технологии С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями	Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие клиентской базы Сл3. Малый штат сотрудников проекта
Возможности:		
В1. Большой потенциал применения системы В2. Увеличение количества предоставляемых услуг В3. Рекламные кампании	Применение современных технологий, универсальность и более низкая стоимость дает возможности увеличения спроса и количества предоставляемых услуг	Проведя рекламную кампанию технологии с большим потенциалом применения, можно расширить клиентскую базу и штат сотрудников.
Угрозы:		
У1. Проблемы с поставкой оборудования У2. Отсутствие потребности на применяемую технологию У3. Ограничения на экспорт технологии	С отсутствием потребностей на технологию можно бороться более низкой стоимостью и применением современных технологий.	Проблемы с поставкой оборудования решаются налаживанием контактов с другими поставщиками. При ограничении на экспорт технологии можно перейти на внутренний рынок и заместить импортные технологии.

Для того, чтобы найти соответствия сильных и слабых сторон разрабатываемого проекта построены интерактивные матрицы проекта (таблицы 4.3-4.6).

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей

		Сильные стороны проекта		
		С1	С2	С3
Возможности проекта	В1	-	+	-
	В2	+	+	+
	В3	-	-	+
Результат		В1С2; В2С1С2С3; В3С3		

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей

		Слабые стороны проекта		
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	+	-	+
	В2	+	-	-
	В3	-	+	+
Результат		В1Сл1Сл3; В2Сл1; В3Сл2Сл3		

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица сильных сторон и угроз

		Сильные стороны проекта		
		С1	С2	С3
Возможные угрозы	У1	+	-	-
	У2	-	+	-
	У3	+	-	+
Результат		У1С1; У2С2; У3С1С3		

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица слабых сторон и угроз

		Слабые стороны проекта		
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможные угрозы	У1	+	+	-
	У2	+	+	-
	У3	-	-	+
Результат		У1Сл1Сл2; У2Сл1Сл2; У3Сл3		

4.3 Бюджет научно-технического исследования

Бюджет научно-технического исследования должен обеспечивать полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. Должны быть подсчитаны следующие статьи расходов:

- материальные затраты;
- заработная плата исполнителей (основная и дополнительная);
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат

При расчете материальных затрат следует учитывать стоимость приобретаемых со стороны сырья и материалов, покупных материалов и сырья, запасные части для электрооборудования и прочие материальные ресурсы, необходимые для проведения научно-технического исследования.

Расчет материальных затрат производится по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расх_i}, \quad (4.2)$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расх_i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (в пределах 20 % от общей цены материалов).

Значения цен на материальные ресурсы устанавливаются по ценникам, размещенным на соответствующих интернет-сайтах предприятий-изготовителей, либо организаций-поставщиков.

На разработку научного проекта необходимы следующие материальные ресурсы: тетради, шариковые ручки, карандаши чернографитные, стирательная резинка, офисная бумага. В таблице 4.7 отражены материальные затраты на производство научно-технического исследования.

Таблица 4.7 – Материальные затраты на производство научно-технического исследования

Наименование	Цена за ед., руб	Кол-во, шт	Сумма, руб
Тетрадь общая, 48 л.	55	3	165
Ручка шариковая синяя	36	5	180
Карандаш чернографитный	20	3	60
Резинка стирательная	15	1	15
Бумага офисная	790	1	790
ИТОГО (рублей)		1210	
ИТОГО (рублей) с учетом ТЗР (20 %)		1452	

Из таблицы 4.7 видно, что на производство научно-технического исследования понадобится 1452 рубля.

4.3.2 Расчет амортизационных отчислений

На выполнение выпускной квалификационной работы студенту-дипломнику дается 5 месяцев. Для выполнения выпускной квалификационной работы необходим персональный компьютер или ноутбук и многофункциональное устройство (МФУ)

Норма амортизации рассчитывается следующим образом:

$$N = \frac{1}{СПИ} * 100\%, \quad (4.3)$$

где *СПИ* – срок полезного использования (для офисной техники 2-3 года).

Принимаем срок полезного использования равный 3-м годам. В таблице 4.8 приведен расчет амортизационных отчислений.

Таблица 4.8 – Расчет амортизационных отчислений

	Стоимость, руб	Срок полезного использования, лет	Норма амортизации, %	Годовая амортизация, руб	Ежемесячная амортизация, руб	Итоговая амортизация, руб
Компьютер	50000	3	33,3	16650	1387,5	6937,5
МФУ	40100	3	33,3	13353,3	1112,78	5563,87
ИТОГО						12501,37

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья бюджета включает в себя основную заработную плату и премии, входящие в фонд заработной платы научного руководителя и инженера. В роли инженера выступает исполнитель проекта.

Затраты на заработную плату складываются из затрат на основную и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.4)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p, \quad (4.5)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, раб. дн.

Среднедневная заработная плата вычисляется следующим образом:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d}, \quad (4.6)$$

где Z_m – месячный должностной оклад, руб;

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

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

Таблица 4.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	66	118
Потери рабочего времени на отпуск	48	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле:

$$Z_m = Z_{\text{окл}} * k_p, \quad (4.7)$$

где $Z_{\text{окл}}$ – должностной оклад, руб;

k_p – районный коэффициент (1,3 для г. Томск).

В таблице 4.10 отражены результаты расчета основной заработной платы.

Таблица 4.10 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{окл}}$, руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , руб.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	29851,54	1,3	38807	2028,1	14	28393,4
Инженер	23413,15		30437,09	1528,68	121	184970,28
ИТОГО						213363,68

Из таблицы 4.10 видно, что наибольшая основная заработная плата приходится на инженера. Это объясняется большим количеством рабочих дней, отведенных на производство научно-исследовательского проекта.

4.3.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата – это предусмотренные Трудовым кодексом РФ доплаты за отклонение от нормальных условий труда, а также выплаты, связанные с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} * k_{\text{доп}}, \quad (4.8)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

В таблице 4.11 показан результат расчета дополнительной заработной платы.

Таблица 4.11 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$	$Z_{\text{доп}}$
Научный руководитель	0,13	28393,4	3691,14
Инженер		184970,28	24046,13
ИТОГО			27737,27

По итогам расчетов затраты на дополнительную заработную плату составят 27737,27 рублей.

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды – это обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и фонда медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) * k_{\text{внеб}}, \quad (4.9)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (для образовательных учреждений – 27,1 %).

В таблице 4.12 отражены затраты на отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 4.12 – Затраты на отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	Сумма отчислений
Научный руководитель	28393,4	3691,14	27,1	8694,91
Инженер	184970,28	24046,13		56643,45
ИТОГО				65338,36

По итогам расчетов затраты на отчисления во внебюджетные фонды составят 65338,36 рублей.

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы представляют собой все затраты, не вошедшие в вышеперечисленные статьи расходов. Расчет накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) * k_{\text{нр}}, \quad (4.10)$$

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

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (1452 + 12501,37 + 213363,68 + 27737,27 + 65338,36) * 0,16 \\ &= 52390,58 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Накладные расходы составляют 52390,58 рублей.

4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Бюджет затрат на производство научно-исследовательского проекта формируется на основании рассчитанных выше статей расходов.

В таблице 4.13 приведены затраты по всем статьям и итоговый бюджет научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.13 – Бюджет научно-исследовательского проекта

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1	Материальные затраты	1452	Пункт 4.1
2	Затраты на амортизационные отчисления	12501,37	Пункт 4.2
3	Затраты по основной заработной плате	213363,68	Пункт 4.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате	27737,27	Пункт 4.4
5	Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	65338,36	Пункт 4.5
6	Накладные расходы	52390,58	Пункт 4.6
7	Итоговый бюджет	372783,26	Сумма ст. 1 – 6

По итогам расчетов был сформирован бюджет научно-исследовательского проекта, размером 372783,26 рубля.

4.4 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования

4.4.1 Определение финансовой эффективности исследования

Оценка бюджета затрат трех или более вариантов исполнения научного исследования позволяет получить интегральный показатель финансовой эффективности этого научного исследования.

Нахождение интегрального показателя эффективности связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.11)$$

где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научного исследования.

В роли исполнителей будут выступать студент-дипломник (инженер) с научным руководителем, ООО «Энергия», НПЦ «Технологические решения».

В таблице 4.13 приведен расчет интегрального финансового показателя разработки.

Таблица 4.13 – Расчет интегрального финансового показателя

Исполнитель	Φ_{pi} , руб.	Φ_{max} , руб.	$I_{\text{финр}}^{\text{студент}}$	$I_{\text{финр}}^{\text{ООО "Энергия"}}$	$I_{\text{финр}}^{\text{НПЦ "ТР"}}$
Инженер с научным руководителем	372783,26	580000	0,64	0,89	1
ООО «Энергия»	515000				
НПЦ «Технологические решения»	580000				

4.4.2 Определение ресурсоэффективности исследования

Оценка ресурсоэффективности проводится посредством расчета интегрального критерия по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i, \quad (4.12)$$

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

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки;

n – число параметров сравнения.

В таблице 4.14 приведена сравнительная оценка характеристик проекта.

Таблица 4.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1 Инженер с научным руководителем	Исп. 2 ООО «Энергия»	Исп. 3 НПЦ «Технологические решения»
Точность	0,3	5	5	5
Надежность	0,2	5	5	5
Быстродействие	0,1	5	4	5
Безопасность	0,2	4	3	4
Удобство	0,1	4	4	3
Обслуживание	0,05	4	3	4
Стоимость	0,05	5	4	3
ИТОГО	1	32	28	29

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,3 * 5 + 0,2 * 5 + 0,1 * 5 + 0,2 * 4 + 0,1 * 4 + 0,05 * 4 + 0,05 * 5 = 4.65$$

$$I_{p2} = 0,3 * 5 + 0,2 * 5 + 0,1 * 4 + 0,2 * 3 + 0,1 * 4 + 0,05 * 3 + 0,05 * 4 = 4.25$$

$$I_{p3} = 0,3 * 5 + 0,2 * 5 + 0,1 * 5 + 0,2 * 4 + 0,1 * 3 + 0,05 * 4 + 0,05 * 3 = 4.45$$

4.4.3 Определение эффективности исследования

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения проекта определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя, по следующей формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{pi}}{I_{\text{финр}}}. \quad (4.13)$$

Также следует определить сравнительную эффективность проектов:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп. 2,3}}}{I_{\text{исп. 1}}}. \quad (4.14)$$

Сравнение показателя эффективности позволит определить сравнительную эффективность проектов и выбрать наиболее подходящий вариант из предлагаемых.

Таблица 4.15 – Сравнение эффективности разработки

№	Показатель	Исп. 1 Инженер с научным руководителем	Исп. 2 ООО «Энергия»	Исп. 3 НПЦ «Технологические решения»
1	Интегральный финансовый показатель	0,64	0,89	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,65	4,25	4,45
3	Интегральный показатель эффективности	7,62	4,77	4,45
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,62	0,58

Исходя из значений сравнительной эффективности вариантов исполнения (таблица 4.15) можно сделать вывод, что наиболее эффективной является система первого исполнителя, разработанная студентом-дипломником и научным руководителем.

4.5 Вывод по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение

По итогам проведения исследования было выполнено определение трудоемкости выполнения работ, расчет материальных затрат, затраты на основную и дополнительную заработную плату, затраты на отчисления во внебюджетные фонды, затраты на накладные расходы. Также были определена ресурсная, финансовая и экономическая эффективности исследования. Были определены сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы при применении данного проекта на предприятии.

Проведен анализ конкурентных технических решений между сторонними компаниями. Установлено, что разрабатываемая студентом-

дипломником и научным руководителем система имеет как ряд преимуществ перед конкурентами, так и ряд уязвимостей.

В процессе расчета бюджета научно-технического исследования выявлено, что затраты на заработную плату студента-дипломника (инженера) многократно превосходят аналогичные затраты научного руководителя. Это связано с количеством рабочих дней работников. Итоговый бюджет научно-технического исследования оценивается в 372783,26 рубля.

5 Социальная ответственность

При выполнении любой работы, вне зависимости от её сложности, возникают различные вредные и опасные производственные факторы, способные пагубно повлиять на здоровье человека, или даже привести к непоправимым последствиям. Так устроен человеческий организм, что в любой момент может возникнуть угроза жизни или здоровью, даже без каких-либо видимых и осязаемых факторов.

Охрана труда и соблюдение прав персонала является важнейшей частью управленческой составляющей организации. Для работников должны быть созданы определенные условия микроклимата, защита от механических воздействий и прочее. При невозможности соблюдения этих условий, должны быть введены ограничения по времени нахождения в зонах, подверженных вредным производственным факторам и компенсации за работу в таких условиях.

В данном разделе будут рассмотрены условия работы оператора, который будет управлять технологическими процессами, протекающими в блоке теплообменников установки комплексной подготовки газа с помощью персонального компьютера. Оператор будет осуществлять контроль за параметрами технологического процесса, управлять технологическим оборудованием, принимать решения в случае возникновения нештатных ситуаций.

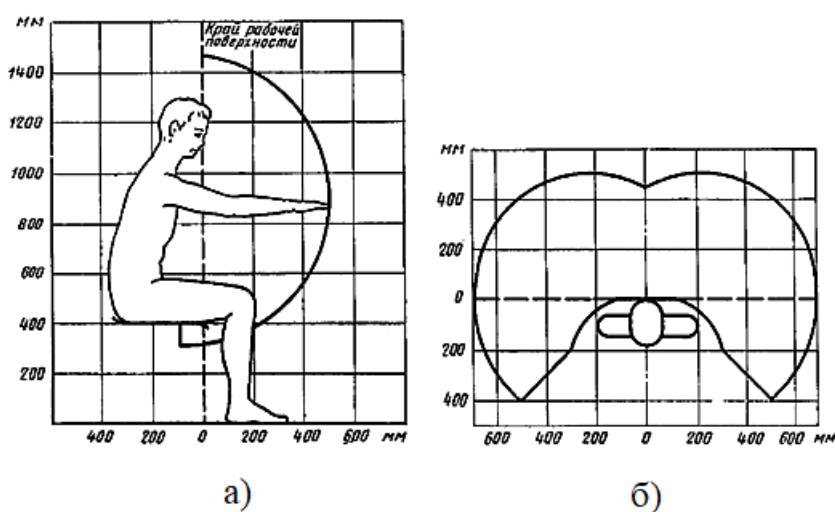
При работе с компьютером человек подвергается вредным и опасным факторам, например, длительное сосредоточенное наблюдение, недостаточная освещенность и пр. Помещение операторской отапливаемое, имеет площадь 15 кв. м., оборудовано офисной мебелью, сплит-системой, рабочее место освещается естественным и искусственным светом.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с законодательством Российской Федерации трудовые отношения между работником и работодателем регулируются Трудовым кодексом. Работник в праве пользоваться и отстаивать свои законные права, установленные настоящим кодексом.

Технологический процесс, протекающий на установке комплексной подготовки газа является непрерывным, поэтому на объекте введена сменная работа. Ввиду того, что работа на установке связана с вредными и опасными факторами, в соответствии со ст. 94 ТК РФ продолжительность рабочей смены не должна превышать 8 часов. Также в соответствии со ст. 147 ТК РФ оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, должна устанавливаться в повышенном размере [14].

Большую часть рабочего времени оператор проводит сидя. В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя» конструкция рабочего места должна обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля [20]. Эти зоны изображены на рисунке 5.1.



а – в вертикальной плоскости; б – в горизонтальной плоскости

Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости моторного поля

Рабочей задачей оператора является контроль и управление технологическими параметрами объекта. Наблюдение за параметрами производится зрительно с помощью электронных устройств для визуального отображения информации (монитор). Управление параметрами объекта будет производиться посредством SCADA-системы и органов управления персональным компьютером (клавиатура и мышь). В этой связи, к рабочему месту оператора предъявляются требования по размещению органов управления.

В соответствии с ГОСТ 22269-78 «Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места» органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля [19]. Также средства отображения информации необходимо располагать относительно друг друга в соответствии с последовательностью их использования или функциональными связями, которые они представляют.

5.2 Производственная безопасность

При работе оператора могут возникать вредные и опасные производственные факторы, способные повлиять на здоровье человека. Для идентификации потенциальных факторов используется ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [24]. В таблице 5.1 приведен перечень опасных и вредных факторов, характерных для исследуемого рабочего места оператора.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. [21] ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [25] ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках. [22]

Продолжение таблицы 5.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения. Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения.	СП 52.13320.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. [17]
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. [15]
Активное наблюдение за ходом производственного процесса.	МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности». [18]

5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов могут возникнуть при прикосновении к частям электрооборудования, находящимся под напряжением, оголенным проводам, неисправным приборам.

В результате поражения током могут возникнуть сбои в работе нервной системы, потеря сознания, электрические ожоги, повреждения внутренних органов и даже летальный исход.

Для исключения возникновения потенциально опасных ситуаций, все электрооборудование должно иметь защитное заземление. Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены выводы однофазного источника питания электроэнергией, согласно ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление», должно быть не более 8 Ом [21].

2. Отсутствие или недостаток необходимого естественного или искусственного освещения возникает при недостаточной яркости осветительных приборов или естественных источников света.

Этот вредный производственный фактор затрудняет продолжительную работу, вызывает повышенную утомляемость и способствует развитию близорукости. Излишний же свет снижает зрительные функции, способствует ухудшению сумеречного зрения и приводит к перевозбуждению нервной системы, в следствие чего снижается работоспособность.

Рабочая зона оператора должна освещаться таким образом, чтобы можно было отчетливо следить за процессом работы, не напрягая органы зрения, также должно быть исключено прямое попадание лучей света от источника в глаза.

Нормирование освещенности при работе за персональным компьютером приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Нормирование освещенности при работе за ПК (СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение) [17]

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различия, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Искусственное освещение				Естественное освещение	
					Освещенность на рабочей поверхности, лк	Цилиндрическая освещенность, лк	Объединенный показатель UGR, не более	Коэффициент пульсации освещенности Кп, %, не более	КЕО еп, % при	
									верхнем или комбинированном	боковом
Выс. точн.	От 0,3 до 0,5	Б	1	Не менее 70	300	100	21 18	15	3,0	1,0
			2	Менее 70	200	75	24 18	20 15	2,5	0,7

3. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды, могут возникнуть при изменяющихся погодных условиях, неисправностях отопительного или кондиционирующего оборудования.

Данные факторы могут привести к ухудшению общего состояния организма оператора: повышение или понижение температуры тела, повышенная потливость, сухость кожи, к респираторным и иным заболеваниям.

Снизить влияние приведенных факторов можно путем установки в помещении операторской сплит-системы и системы вентиляции, а также при поддержании оптимальных значений показателей микроклимата, которые приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Оптимальные значения показателей микроклимата на рабочем месте (СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания) [15]

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	от 23 до 25	от 40 до 60	0,1
Теплый	от 20 до 22	от 40 до 60	0,1

4. Активное наблюдение за ходом производственного процесса возникает при длительном мониторинге важных технологических параметров объекта.

Эта нервно-психическая перегрузка организма может способствовать повышению утомляемости и раздраженности.

Во избежание серьезных последствий для нервной системы, в соответствии с МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности», для операторов со средней степенью напряженности должен соблюдаться рациональный режим труда и отдыха [18]. Рекомендуется предусмотреть два

обеденных перерыва, общей продолжительностью 1,5 ч. При работе в дневную 12-часовую смену рекомендуется предоставлять четыре регламентированных перерыва по 10 минут. Во время регламентированных перерывов следует проводить гимнастику общего воздействия, а также гимнастику для глаз.

5.4 Экологическая безопасность

Во время работы установки комплексной подготовки газа не исключены утечки газа в атмосферу, пролив газового конденсата и метанола.

1. Защита селитебной зоны. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» установка комплексной подготовки газа относится к I классу санитарной классификации, потому что на объекте ведется производство по переработке природного газа [16]. Поэтому для такого производства устанавливается ориентировочный размер санитарно-защитной зоны в 1000 м.

2. Защита атмосферы. Основным загрязнителем атмосферы на объекте является газ метан. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», предельно допустимая концентрация метана в рабочей зоне составляет 7000 мг/м³ [26]. Для предотвращения выбросов в атмосферу в аварийных ситуациях газ направляется на газовый факел для сжигания.

3. Защита гидросферы. При проливе метанола или газового конденсата может возникнуть загрязнение водоемов или грунтовых вод. Согласно ГОСТ 2222-95 «Метанол технический. Технические условия», предельно допустимая концентрация диэтиленгликоля в воде водоемов составляет 1000 мг/м³ [27]. ПДК газового конденсата, согласно ГОСТ 12.1.005-88 составляет 900 мг/м³ в пересчете на углерод [26]. Для предотвращения пролива жидкостей и их попадания в водоемы площадка оборудована заградительными сооружениями.

4. Защита литосферы. При эксплуатации объекта будут образовываться твердые бытовые отходы. Сбор отходов будет производиться в контейнеры в специально отведенных местах и в дальнейшем вывозиться коммунальными службами. Этот процесс регламентируется ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения [28].

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При работе установки комплексной подготовки газа могут возникнуть различные техногенные аварии:

- отказ оборудования и (или) систем безопасности – может возникнуть из-за нарушения условий эксплуатации оборудования, производственного брака, некачественного планового технического обслуживания;

- нарушение режима эксплуатации автоматизированной системы управления – может возникнуть при несоблюдении алгоритмов управления системой или обслуживании системы неквалифицированным персоналом;

- выброс углеводородов в атмосферу – может возникнуть при некачественном техническом обслуживании технологического оборудования и трубной арматуры.

В регионах, подверженных природным катаклизмам могут возникать угрозы наводнения, ураганы, землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории.

Наиболее вероятным видом чрезвычайной ситуации может стать отказ оборудования или систем безопасности. Это может произойти при нарушении условий эксплуатации оборудования или производственного брака, но чаще всего такие чрезвычайные ситуации возникают по причине человеческого фактора.

При чрезвычайных ситуациях возможно возникновение пожаров. Согласно Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» пожар газа на установке классифицируется классом С [29].

На рисунке 5.2 приведен план эвакуации при пожаре.



Рисунок 5.2 – План эвакуации при пожаре

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования для борьбы с пожарами могут быть применены следующие первичные средства пожаротушения: пожарные автомобили; пожарные поезда; переносные и передвижные огнетушители; пожарный инвентарь (багры, лопаты, песок и пр.) [23].

5.6 Вывод по разделу социальная ответственность

Помещение операторской установки комплексной подготовки газа соответствует нормативным значениям по микроклимату, электробезопасности и прочим рассмотренным факторам.

Помещение операторской относится к сухому без повышенной опасности поражения электрическим током. Имеет категорию В4 по взрывопожарной и пожарной опасности.

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок операторы должны иметь I группу по электробезопасности, т.к. они не относятся к электротехническому и электротехнологическому персоналу. Электротехнический и электротехнологический персонал, работающий и обслуживающий на объекте электроустановки напряжением до 1000В должен иметь III группу по электробезопасности.

Для оператора установки комплексной подготовки газа устанавливается I категория тяжести труда – легкие физические работы с энергозатратами до 150 ккал/ч (174 Вт).

Объектом, оказывающим значительное негативное воздействие на окружающую среду, является установка комплексной подготовки газа, которая относится к I категории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был проведен комплекс мер по модернизации автоматизированной системы управления теплообменным блоком установки комплексной подготовки газа.

Теплообменный блок предназначен для охлаждения газа перед его подачей на ступень низкотемпературной сепарации. Блок охлаждения состоит из рекуперативного теплообменника и дроссельного устройства. Ввиду протекания технологического процесса при низких температурах и высоком давлении, для предотвращения образования гидратов в поток газа вводится метанол, выполняющий роль ингибитора гидратообразования. Для эффективного использования метанола был произведен расчет его расхода при условиях номинального режима работы блока.

В автоматизированной системе управления была произведена замена полевых устройств на более современные. Из среднего уровня системы исключены незадействованные модули программируемого логического контроллера. На верхнем уровне автоматизированной системы была внедрена полноценная SCADA-система взамен системы Web-визуализации.

Для контура автоматического регулирования температуры газа на выходе дроссельного устройства было проведено его математическое описание на базе программного комплекса Matlab Simulink. В качестве алгоритма управления дроссельным устройством был выбран ПИД-закон регулирования. Экспериментально определены значения коэффициентов ПИД-регулятора, при которых система управления отвечает требованиям качества переходного процесса.

В области социально-экономической ответственности в рамках проекта были определены вредные и опасные факторы при работе оператора с автоматизированной системой управления, а также бюджет на проведение научно-технического исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ким, К. В. Исследование комплексной подготовки газа месторождений Шуртан и Зеварды / К. В. Ким, Г. Р. Базаров, Х. Б. Дустов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 8 (112). — С. 238-242. — URL: <https://moluch.ru/archive/112/28477/>.
2. Установка комплексной подготовки газа [Электронный ресурс] / Нефтегаз.ру. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/oborudovanie-dlya-sbora-i-podgotovki-nefti-i-gaza/142234-ustanovka-kompleksnoy-podgotovki-gaza/>
3. Подготовка, транспорт и хранение скважинной продукции: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2004, – 268 с.
4. Аверкиев В. А. Повышение эффективности технологии применения метанола для предупреждения гидратообразования : бакалаврская работа / В. А. Аверкиев ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР), Отделение нефтегазового дела (ОНД) ; науч. рук. Т. С. Глызина. — Томск, 2020.
5. Лаврищев И.Б., Кириков А.Ю. Разработка функциональных схем автоматизации при проектировании автоматизированных систем управления процессами пищевых производств: Метод. указания к практическим занятиям по курсовому проектированию для студентов спец. 210200. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2012. – 51 с.
6. Беликов М. К. Автоматизированная система управления газожидкостного струйного аппарата : бакалаврская работа / М. К. Беликов ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа информационных технологий и робототехники (ИШИТР), Отделение автоматизации и робототехники (ОАР) ; науч. рук. Е. И. Громаков. — Томск, 2021.

7. Неверов, Е. Н.. Автоматизация низкотемпературных систем: практикум [Электронный ресурс] / Неверов Е. Н., Коротких П. С.. — Кемерово: КемГУ, 2020. — 108 с.. — Книга из коллекции КемГУ - Инженерно-технические науки.. — ISBN 978-5-8353-2752-2. Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/172669> (контент).

8. Басюрина, И. С.. Моделирование комплексной подготовки газа с учетом процесса дросселирования / И. С. Басюрина; науч. рук. Е. А. Кузьменко // Химия и химическая технология в XXI веке материалы XV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, Томск, 26-29 мая 2014 г: в 2 т.: . — 2014 . — Т. 2 . — [С. 14-16] . — Заглавие с титульного экрана. — Adobe Reader. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C27/V2/005.pdf> (контент).

9. Руководство Simple-Scada [Электронный ресурс]: – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://simple-scada.com/help/manual/>, свободный.

10. Справочное руководство по MySQL [Электронный ресурс]: – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.mysql.ru/docs/man/>, свободный.

11. ГОСТ 21.208 – 2013. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – Взамен ГОСТ 21.408 – 85; введ. 2013 – 11 – 14. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 27с.

12. ГОСТ 21.408 – 2013. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – Взамен ГОСТ 21.408 – 93; введ. 2013 – 11 – 14. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 38с.

13. Рабочая документация: РД 39-1-212-79. Методика расчета норм расхода метанола для борьбы с гидратообразованием.

14. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ (с изм. от 25 февраля 2022 г.).

15. Санитарные правила и нормы: СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

16. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

17. Свод правил: СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

18. Методические рекомендации: МР 2.2.9.2311-07. Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности.

19. ГОСТ 22269-76 Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.

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

21. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

22. ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках.

23. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

24. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Перечень опасных и вредных факторов.

25. ГОСТ Р 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

26. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей среды.

27. ГОСТ 2222-95. Метанол технический. Технические условия.

28. ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.

29. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

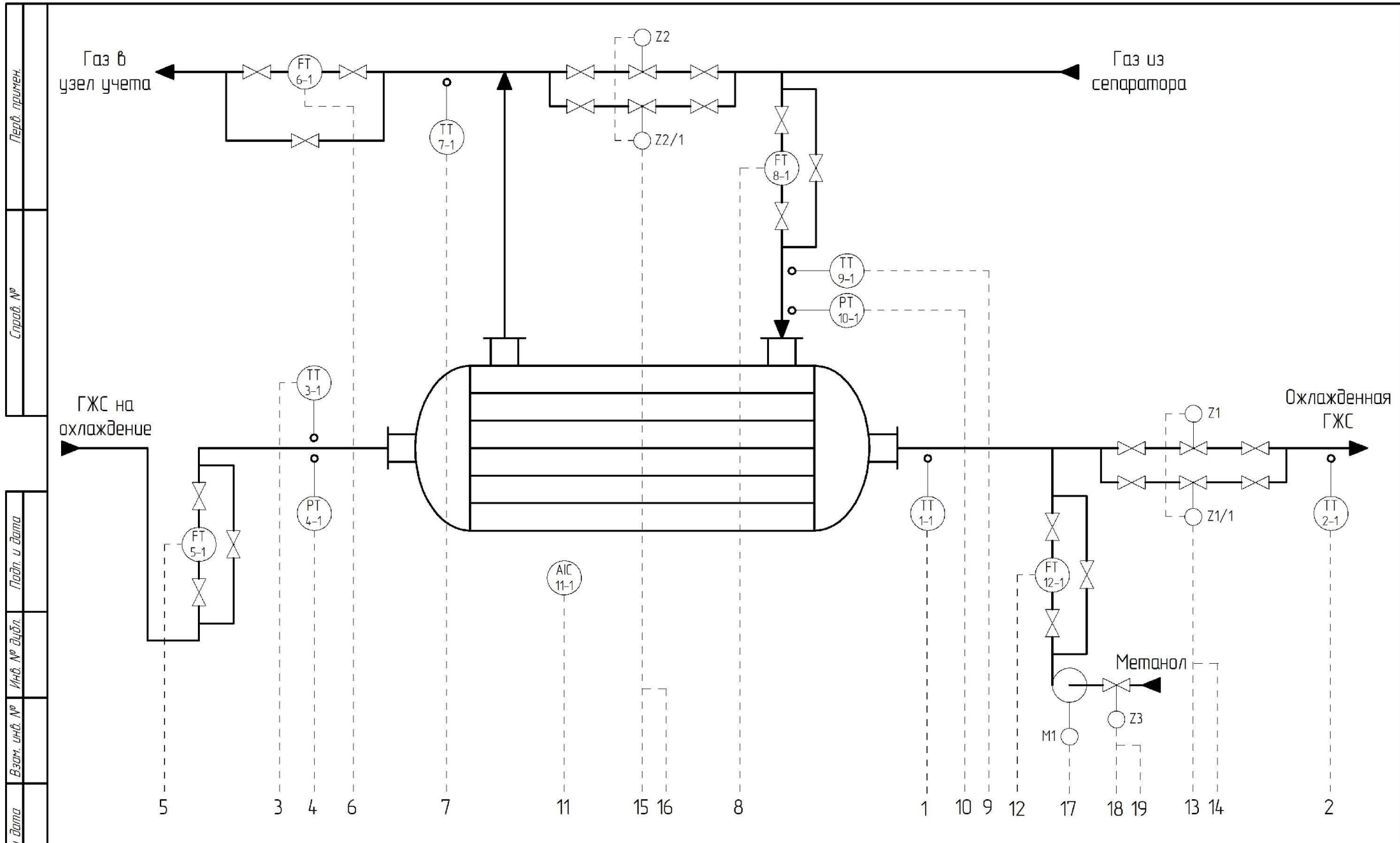
30. РМ 4-6-92 ч.3 Системы автоматизации технологических процессов. Проектирование электрических и трубных проводок. Указания по выполнению документации.

31. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 Контроллеры программируемые. Языки программирования.

Приложение А

(обязательное)

Функциональная схема автоматизации



Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № д.ф.л.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

				ФЮРА.425280.001 ЭС 07		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Шевелев И.А				Лит.	Листов
Пров.	Сидорова А.А				1	2
Н.контр.	Кузьминская Е.В				ТПУ ОАР ИШИТР	
Утв.					Группа 3-8Т72	
Функциональная схема автоматизации						
Копировал					Формат А3	

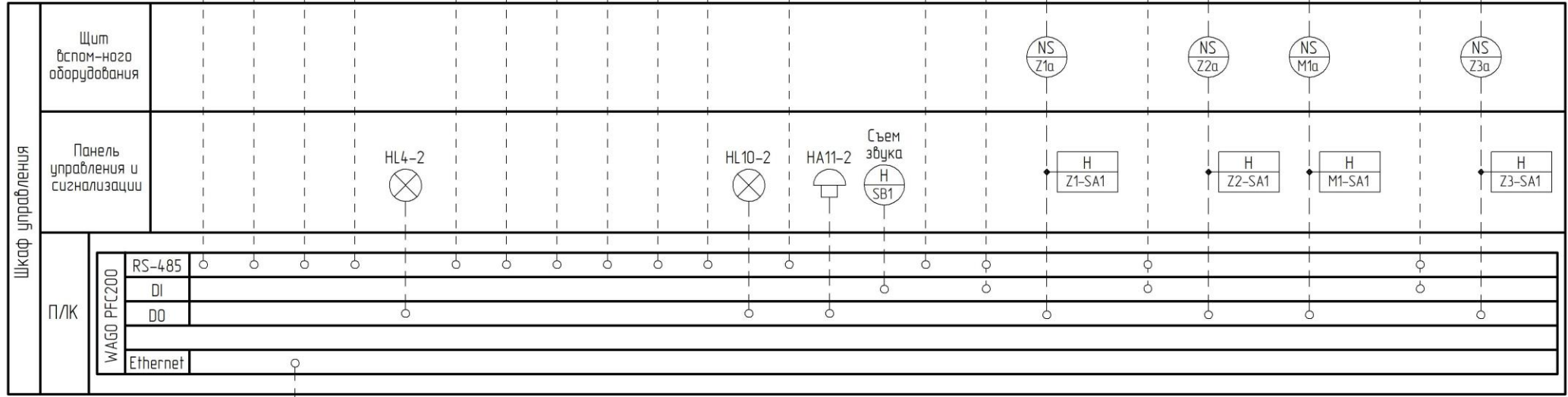
Приложение А

(продолжение)

Функциональная схема автоматизации

Инв. № подл. Подл. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подл. и дата

1	Температура на выходе теплообменника, °С
2	Температура после дросселя, °С
3	Температура на входе в теплообменник, °С
4	Давление в теплообменнике, МПа
5	Расход газа на входе в теплообменник, м ³ /ч
6	Расход газа на узел учета, м ³ /ч
7	Температура газа на узел учета, °С
8	Расход теплоносителя, м ³ /ч
9	Температура теплоносителя, °С
10	Давление теплоносителя, МПа
11	Концентрация метана, %
12	Расход метанола, м ³ /ч
13	Положение дросселя Z1, %
14	Открыть/закрыть дроссель Z1, DO
15	Положение клапана Z2, %
16	Открыть/закрыть клапан Z2, DO
17	Пуск/Останов двигателя M1, DO
18	Положение клапана Z3, %
19	Открыть/закрыть клапан Z3, DO



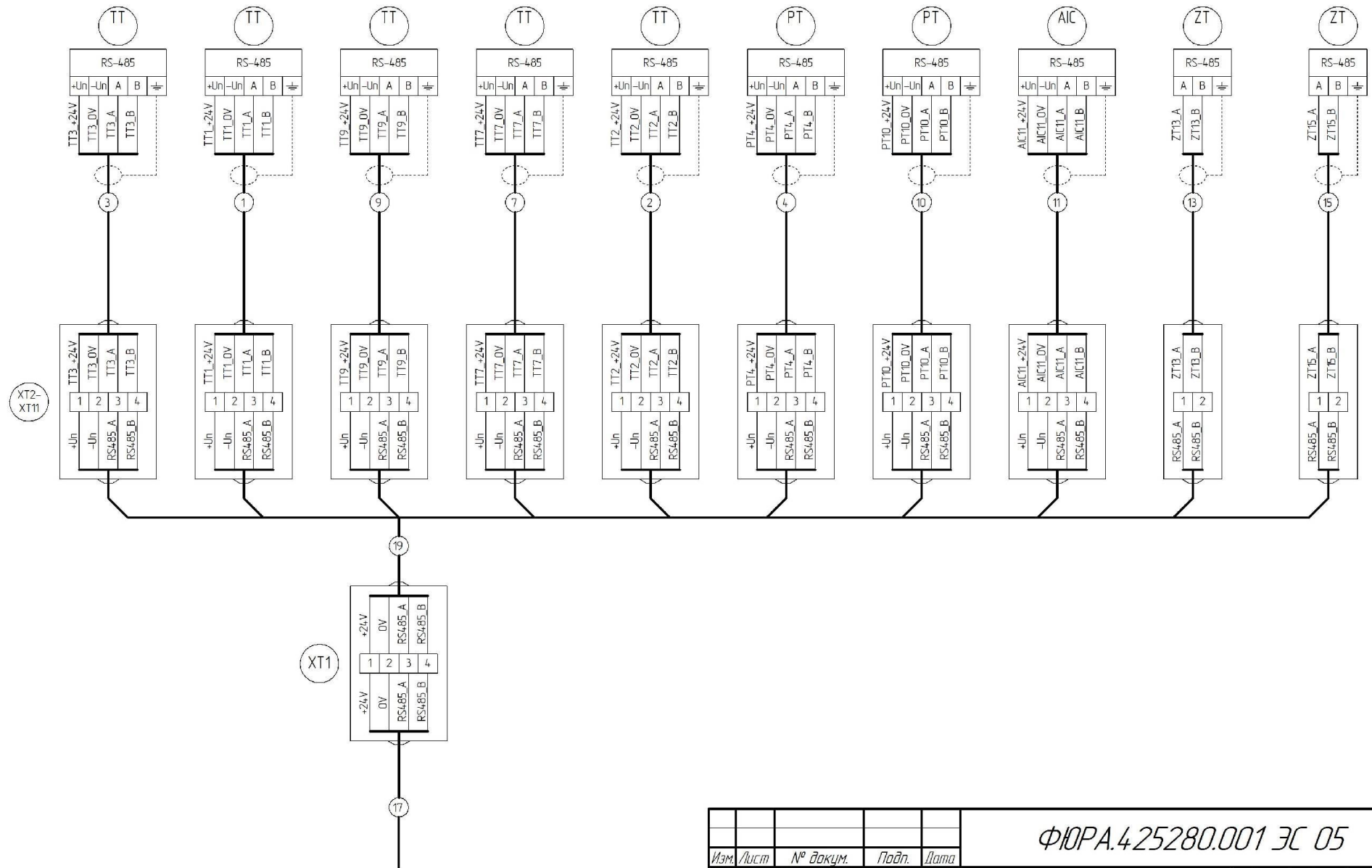
SCADA	Измерение	○
	Управление	○
	Сигнализация	○

Приложение Б

(обязательное)

Схема соединений внешних проводок

Наименование параметра	Температура					Давление		Концентрация	Положение	
	Вход в трубное пространство теплообменника	Выход из трубного пространства теплообменника	Вход в межтрубное пространство теплообменника	Трубопровод учета газа	Трубопровод после дросселя Z1	Вход в трубное пространство теплообменника	Вход в межтрубное пространство теплообменника	Технологическая площадка	Дроссель Z1	Клапан Z2
Тип устройства	ЭЛЕМЕР ТПУ0304/МЗ-МВ	ЭЛЕМЕР ТПУ0304/МЗ-МВ	ЭЛЕМЕР ТПУ0304/МЗ-МВ	ЭЛЕМЕР ТПУ0304/МЗ-МВ	ЭЛЕМЕР ТПУ0304/МЗ-МВ	ЭЛЕМЕР АИР-20	ЭЛЕМЕР АИР-20	СЕНС СГ-А1	КИМ2	КИМ2
Позиция	3-1	1-1	9-1	7-1	2-1	4-1	10-1	11-1	13-1	15-1



Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Шеделев И.А.		
Проб.	Сидорова А.А.		
Н.контр.	Кизьминская Е.В.		
Утв.			

ФЮРА.425280.001 ЭС 05

Схема соединений
внешних проводов

Копировал

Лит.	Лист	Листов
У	1	5

ТПУ ОАР ИШИТР
Группа 3-8Т72

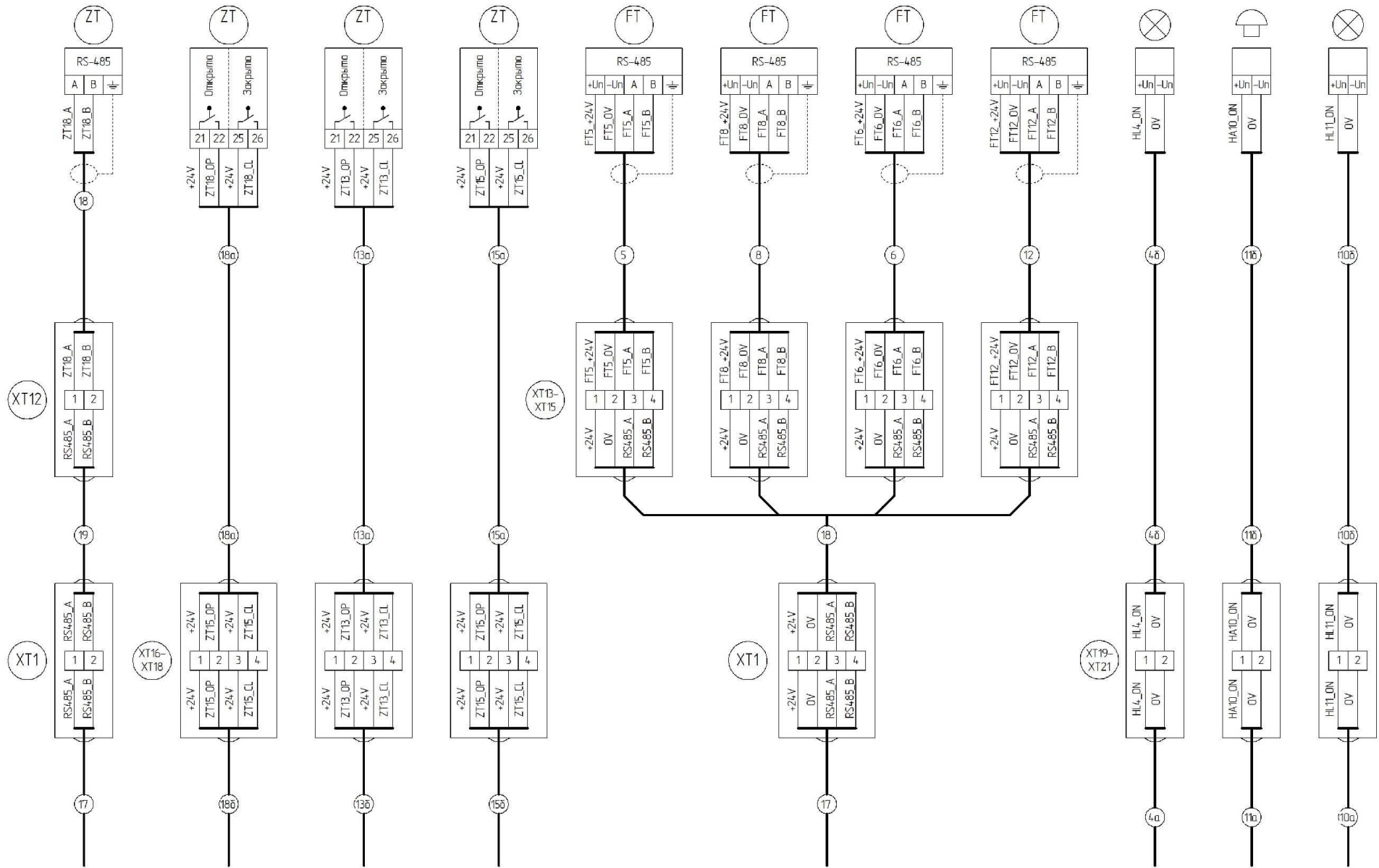
Формат А3

Приложение Б

(продолжение)

Схема соединений внешних проводок

Наименование параметра	Положение				Расход				Сигнализация		
	Место отбора импульса	Клапан Z3	Клапан Z3	Дроссель Z1	Клапан Z2	Вход в трубное пространство теплообменника	Вход в межтрубное пространство теплообменника	Трубопровод учета газа	Расход метанола	Высокое давление в теплообменнике	Превыш. концентр. метана
Тип устройства	КИМ2	Блок концевых выключателей	Блок концевых выключателей	Блок концевых выключателей	ЭЛЕМЕР-РВ	ЭЛЕМЕР-РВ	ЭЛЕМЕР-РВ	ЭЛЕМЕР-РВ	Сигнальная лампа	Звонок	Сигнальная лампа
Позиция	18-1	18-1	13-1	15-1	5-1	8-1	6-1	12-1	HL4-2	HA11-2	HL10-2



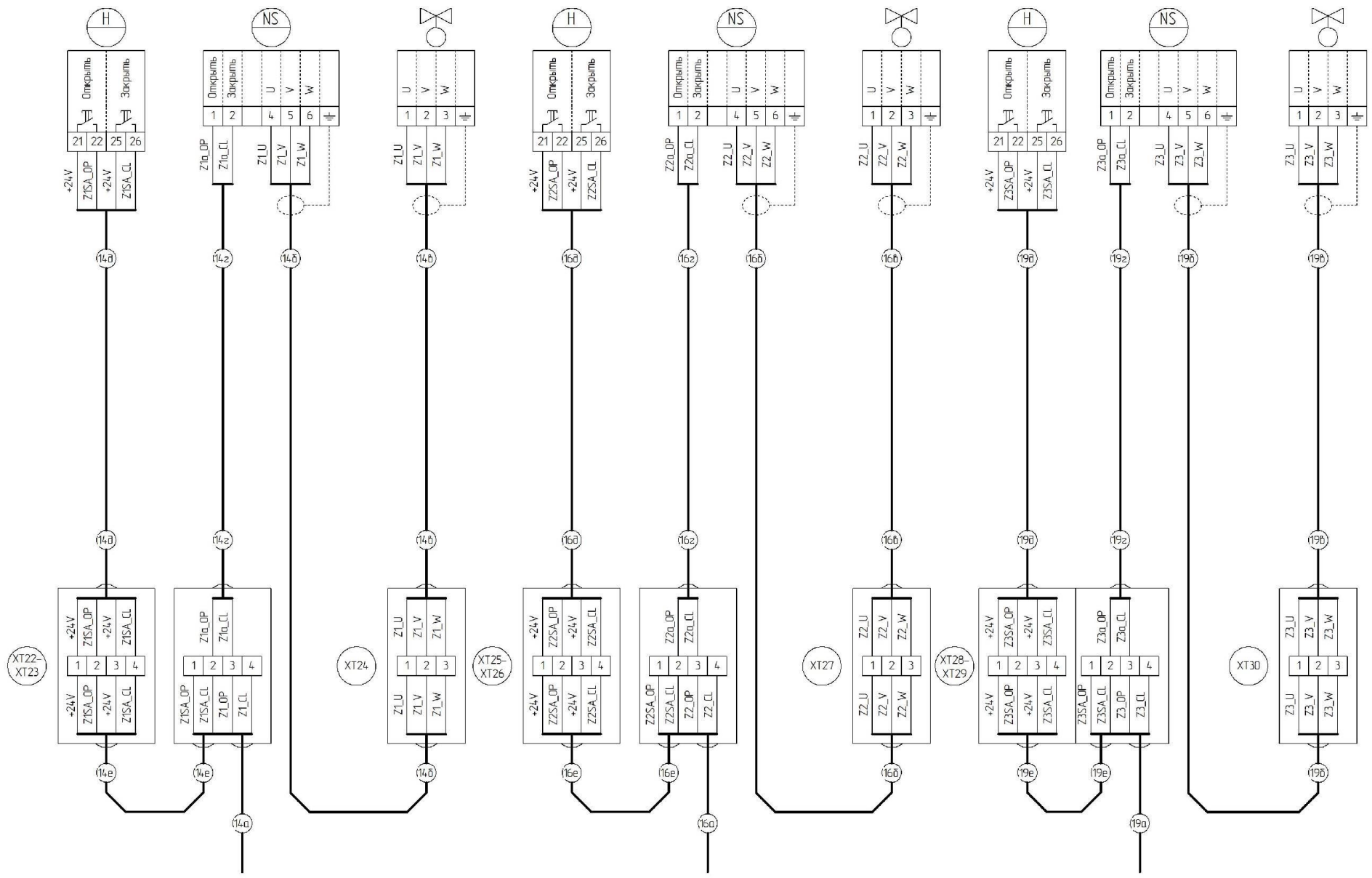
Инд. № подл. Подп. и дата. Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата.

Приложение Б

(продолжение)

Схема соединений внешних проводок

Наименование параметра	Управление									
	Место отбора импульса	Открыть/Закрыть дроссель Z1	Дроссель Z1	Дроссель Z1	Открыть/Закрыть клапан Z2	Клапан Z2	Клапан Z2	Открыть/Закрыть клапан Z3	Клапан Z3	Клапан Z3
Тип устройства	Кнопочный пост	ПБР-3	МЭПК-6300	МЭПК-6300	Кнопочный пост	ПБР-3	МЭПК-6300	Кнопочный пост	ПБР-3	МЭПК-40/25
Позиция	Z1-SA1	Z1a	Z1	Z1	Z2-SA1	Z2a	Z2	Z3-SA1	Z3a	Z3



Изд. № подл. Подл. и дата
 Взлом. шиф. № Инв. № докум. Подл. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подл.	Дата
------	------	----------	-------	------

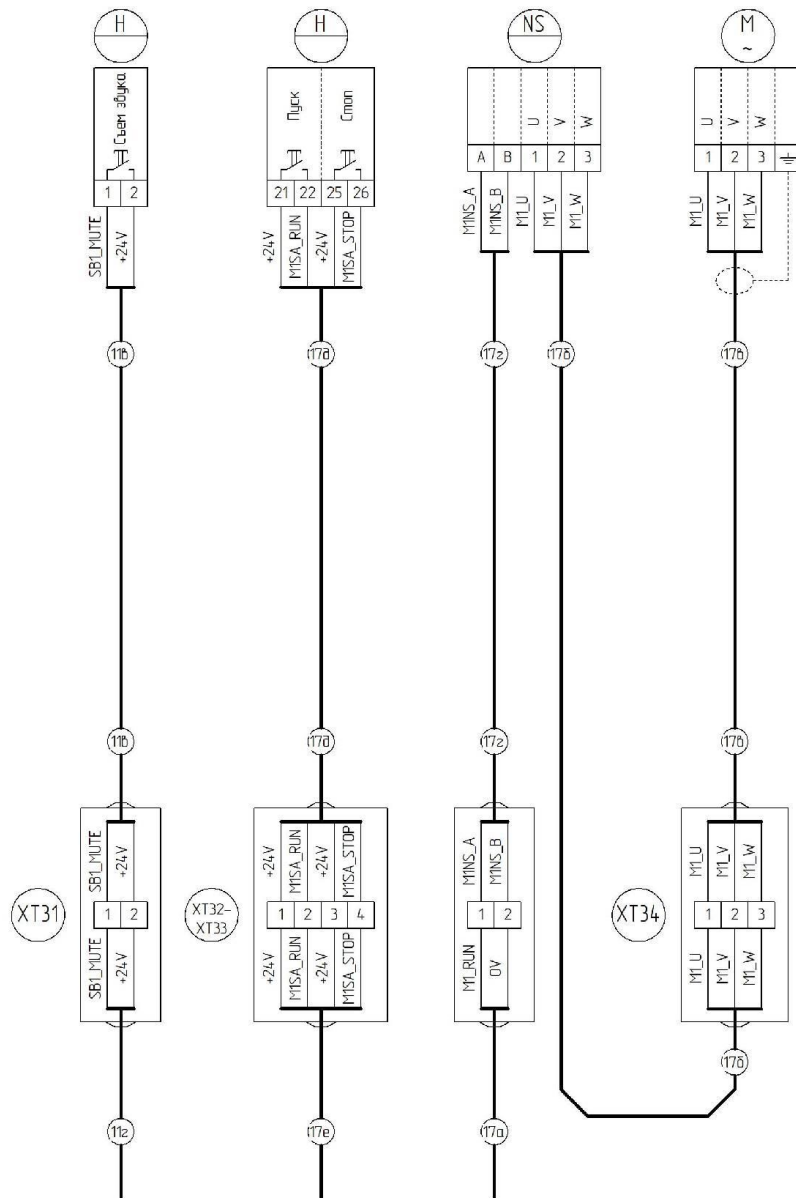
ФЮРА.425280.001 ЭС 05

Приложение Б

(продолжение)

Схема соединений внешних проводок

Наименование параметра	Управление			
	Выключить звонок HA11-2	Пуск/Останов двигателя M1	Пуск/Останов двигателя M1	Пуск/Останов двигателя M1
Место отбора импульса				
Тип устройства	Кнопочный пост	Кнопочный пост	АРЕОПАГ НДЭ АР50.3	АРЕОПАГ НДЭ АР50.3
Позиция	SB1	M1-SA1	M1a	M1



Инв. № подл.	Подл. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подл. и дата

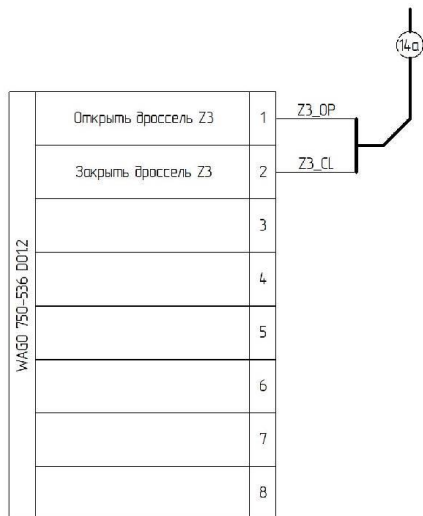
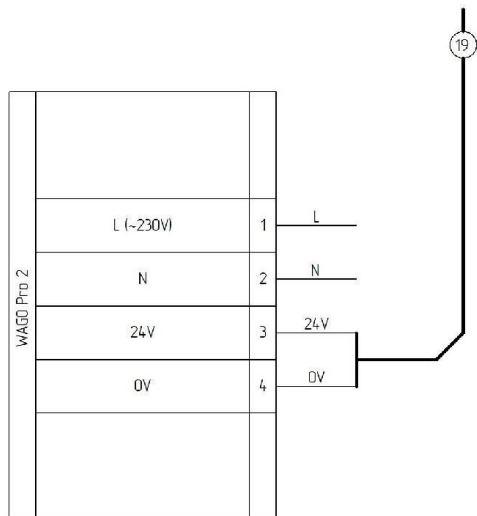
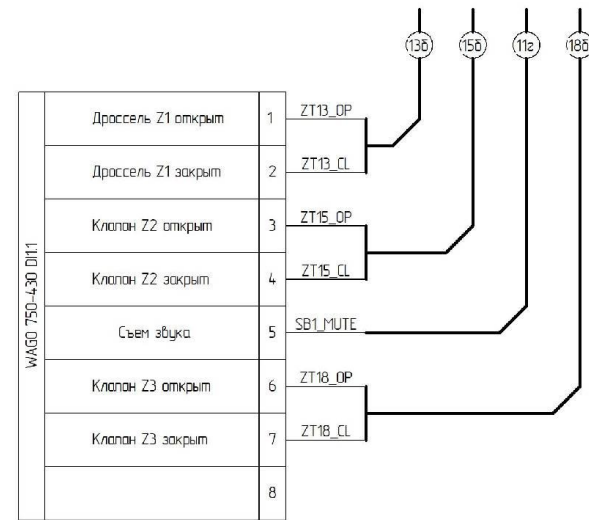
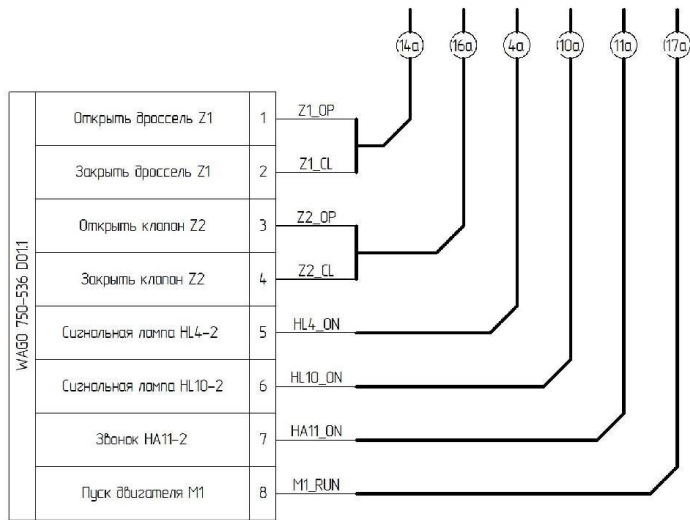
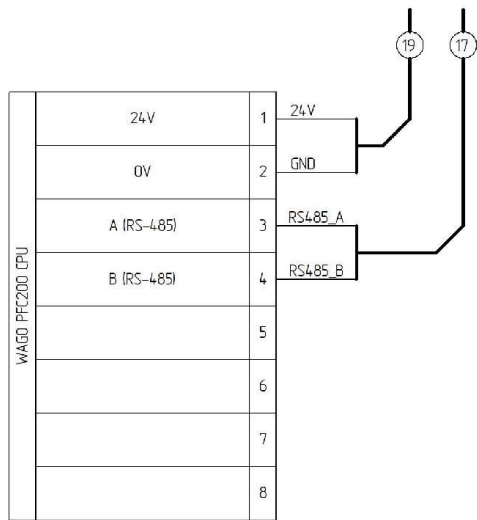
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.4.25280.001 ЭС 05

Приложение Б

(продолжение)

Схема соединений внешних проводок



Инд. № подл. Подп. и дата. Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата.

Приложение В

(обязательное)

Блок-схема алгоритмов управления

