

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
Автоматизированная система управления блочной кустовой насосной станцией с беспроводной сенсорной системой измерений

УДК 004.896:004.73:622.276.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158T82	Фэн Хуньян		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения

Код компетенции	Наименование компетенции
Общекультурные (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	Способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности
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

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

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

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»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения _____ весенний семестр 2022 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	41
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	14
	Социальная ответственность	14

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		



«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

(Подпись)

(Дата)

Громаков Е.И.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
158Т82	Фэн Хуньян

Тема работы:

Автоматизированная система управления блочной кустовой насосной станцией с беспроводной сенсорной системой измерений

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является автоматизированная система управления блочно-кустовой насосной станции с беспроводной сенсорной системой. Режим работы непрерывный. На БКНС производится закачка воды для поддержания пластового давления.
--	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Описание технологического процесса 2. Выбор архитектуры АС 3. Разработка структурной схемы АС 4. Функциональная схема автоматизации 5. Разработка схемы информационных потоков АС 6. Выбор средств реализации АС 7. Разработка схемы соединения внешних проводок 8. Выбор (обоснование) алгоритмов управления АС 9. Разработка экранных форм АС
Перечень графического материала	1. Функциональная схема технологического процесса 2. Перечень входных/выходных сигналов ТП 3. Схема информационных потоков 4. Структурная схема САР локального технологического объекта. Результаты моделирования (исследования) САР в MatLab 5. Алгоритм сбора данных измерений. Блок схема алгоритма 6. SCADA–формы экранов мониторинга и управления 7. Обобщенная структура управления АС 8. Трехуровневая структура АС
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницына Зоя Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.т.н.
Социальная ответственность	Мезенцова Ирина Леонидовна, Ст. преподаватель ООД ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
-	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т82	Фэн Хуньян		

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

Студенту:

Группа	ФИО
158Т82	Фэн Хуньян

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение назначения объекта и определение целевого рынка
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Разработка НИР на этапы, составление графика работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка технико-экономической эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т82	Фэн Хуньян		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
158T82	Фэн Хуньян

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

Автоматизированная система управления блочной кустовой насосной станцией с беспроводной сенсорной системой измерений	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение	<i>Объект исследования: цех, где расположена блочно-кустовая насосная станция.</i> <i>Область применения: блочная кустовая насосная станция (БКНС).</i> <i>Рабочая зона: закрытое, отапливаемое, вентилируемое помещение.</i> <i>Размеры помещения: 20*20 м.</i> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер с цветным графическим монитором.</i> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: наблюдение за работой оборудования, настройкой и наладкой аппаратуры.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности <u>при эксплуатации</u> —	1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ; 2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; 3. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95; 4. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; 5. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация; 6. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация; 7. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха
2. Производственная безопасность <u>при эксплуатации</u> —	Вредные факторы: 1. Неблагоприятные микроклиматические условия помещения. 2. Недостаточное освещение рабочего места. 3. Повышенный уровень шума и вибрации. Опасные факторы: 1. наличие источников статического электричества 2. короткое замыкание электрики. 3. Электрический ток

	Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление, беруши, наушники, регламентированные перерывы, защитные ограждения.
3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u>	<i>Воздействие на селитебную зону:</i> отсутствует. <i>Воздействие на литосферу:</i> в виде отходов, возникших при поломке персонального компьютера, люминесцентных ламп и других электроприборов. Также стоит учесть отходы макулатуры. <i>Воздействие на гидросферу:</i> продукты жизнедеятельности персонала. <i>Воздействие на атмосферу:</i> отсутствует.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u>	Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); Техногенные аварии (обвал производственного здания или оборудования, пожар в следствие короткого замыкания) Наиболее актуальная ЧС: возникновение пожара.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 04.05.2022	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна			04.05.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
158Т82	Фэн Хуньян		04.05.2022

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 101 с., 28 рис, 32 табл, 23 источников, 4 прил.

Ключевые слова: блочная кустовая насосная установка, автоматизированная система управления, беспроводная сенсорная система, WirelessHART, ПИД-регулятор, SCADA-система.

Объектом исследования является блочно-кустовая насосная станция с беспроводной сенсорной системой.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация автоматизированной системы управления блочно-кустовой насосной станцией путем применения беспроводной сенсорной системы сбора данных.

В результате исследования, выполнена модернизация автоматизированной системы управления технологическими процессами блочной кустовой насосной станции путем замены проводной телекоммуникации беспроводной сенсорной системой, выполнена замена КИПиА традиционного исполнения на КИПиА автономного типа, выполнены расчеты показателей надежности модернизированной АСДУ БКНС, разработаны алгоритмы управления автоматизированной системой, выполнен анализ САР расхода воды для закачки в пласт нефти, разработана экранная форма диспетчерского управления БКНС.

Степень внедрения. Был разработан концептуальный проект системы контроля и управления технологическим процессом на базе автономных КИПиА, промышленного контроллера и АРМ с применением SCADA-системы Trace Mode 6.09.

Решения ВКР могут быть основой эскизного проекта автоматизации управления насосной станцией с беспроводными КИПиА.

Данная система позволит увеличить производительность, повысить точность и надежность измерений, сократит число аварий.

Оглавление

Определение, обозначения, сокращения, нормативные ссылки	16
Введение	18
1 Техническое задание	19
1.1 Основные цели и задачи создания АСУ ТП.....	19
1.2 Требования к системе	19
1.3 Требования к техническому обеспечению	20
1.4 Требования к метрологическому обеспечению	21
1.5 Требования к программному обеспечению.....	21
1.6 Требования к информационному обеспечению.....	22
1.7 Требования к математическому обеспечению	23
2. Основная часть	24
2.1. Описание технологического процесса.....	24
2.2. Беспроводная сенсорная система	24
2.2.1 WirelessHART	25
2.2.2 Выбор датчиков	26
2.2.3 Выбор адаптера для WirelessHART	38
2.2.4 Выбор шлюза для WirelessHART	39
2.3. Разработка структурной схемы АС	42
2.4 Функциональная схема автоматизации	43
2.5 Разработка схемы информационных потоков БКНС	44
2.6 Выбор средств реализации БКНС	46
2.6.1 Выбор контроллерного оборудования БКНС	46
2.6.2 Выбор исполнительных механизмов	47
2.6.2.1. Выбор насосного агрегата.....	47
2.6.2.2. Выбор насосов маслосистемы	48
2.6.2.3. Выбор преобразователя частоты	49
2.7 Выбор алгоритмов управления АС БКНС.....	50
2.7.1 Разработка алгоритма пуска	50
2.7.2 Разработка алгоритма останова	52
	13

2.7.3 Алгоритм автоматического регулирования технологическим параметром	54
2.8 Экранные формы АС БКНС.....	59
2.9 Определение показателей надежности	60
3. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности.....	66
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	66
3.2 Анализ конкурентных технических решений	67
3.3 Технология QuaD	68
3.4 SWOT – анализ	70
3.5 Планирование научно-исследовательских работ.....	71
3.5.1 Структура работ в рамках научного исследования	71
3.6 Разработка графика проведения научного исследования	73
3.7 Бюджет научно-технического исследования	76
3.7.1 Расчет материальных затрат	76
3.7.2 Расчет затрат на специальное оборудование	76
3.7.3 Основная заработная плата исполнителей темы	77
3.7.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	77
3.7.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	78
3.7.6 Накладные расходы	78
3.7.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	78
4 Социальная ответственность.....	81
4.1 Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности	82
4.1.1 Эргономические требования к рабочему месту	82
4.1.2 Окраска и коэффициенты отражения	83
4.2 Производственная безопасность	84
4.3 Экологическая безопасность.....	92
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	93
Заключение.....	95
Список используемой литературы	96
Приложение А.....	98

Приложение Б	99
Приложение В	100
Приложение Г	101

Определение, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения

В данной работе применены следующие сокращения с соответствующими обозначениями:

автоматизированная система (АС) – комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса.

интерфейс (RS-232C, RS-422, RS-485, CAN) – совокупность средств (программных, технических, лингвистических) и правил для обеспечения взаимодействия между различными программными системами, между техническими устройствами или между пользователем и системой.

видеокадр: область экрана, которая служит для отображения мнемосхем, трендов, табличных форм, окон управления, журналов и т.п.

мнемосхема: представление технологической схемы в упрощенном виде на экране АРМ.

мнемознак: представление объекта управления или технологического параметра (или их совокупности) на экране АРМ.

интерфейс оператора: совокупность аппаратно-программных компонентов АСУ ТП, обеспечивающих взаимодействие пользователя с системой.

профиль АС: определяется как подмножество и/или комбинации базовых стандартов информационных технологий и общепринятых в международной практике фирменных решений (Windows, Unix, Mac OS), необходимых для реализации требуемых наборов функций АС.

протокол (CAN, OSI, ProfiBus, Modbus, HART и др.): набор правил, позволяющий осуществлять соединение и обмен данными между двумя и более включёнными в соединение программируемыми устройствами.

технологический процесс (ТП): последовательность технологических операций, необходимых для выполнения определенного вида работ.

архитектура автоматизированной системы: набор значимых решений по организации системы программного обеспечения, набор структурных элементов и их интерфейсов, при помощи которых komponуется АС.

OPC-сервер: программный комплекс, предназначенный для автоматизированного сбора технологических данных с объектов и предоставления этих данных системам диспетчеризации по протоколам стандарта OPC.

тег: метка как ключевое слово, в более узком применении идентификатор для категоризации, описания, поиска данных и задания внутренней структуры.

modbus: коммуникационный протокол, основанный на архитектуре «клиент-сервер».

Введение

Блочно-кустовая насосная станция (БКНС) служит принудительного нагнетания воды в пласт, для поддержания пластового давления на месторождениях нефтедобычи. Этот метод широко распространён в мире на сегодняшний день, является эффективным для улучшения нефтедобычи продуктов. С развитием науки и техники все больше и больше исследователей в стране и за рубежом стали обращать внимание на сочетание беспроводных сенсорных систем и насосных станций. Поэтому данная работа актуальна.

Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли является одним из прогрессирующих направлений в области автоматизации. Под автоматизацией понимается применение комплекса аппаратно-технических средств, экономико-математических средств, систем управления, которые частично освобождают человека от участия в повторяющихся или циклических процессах, или от иного труда. Полагаться исключительно на рабочую силу для полного управления оборудованием становится все труднее адаптироваться к развитию времени. Текущая ситуация такова: количество сотрудников ограничено, а количество оборудования увеличивается; точность и актуальность параметров оборудования и записи данных в режиме реального времени постоянно улучшаются, поэтому использование системы онлайн-мониторинга водонасосного оборудования идет в ногу со временем. Это не только облегчает ежедневный мониторинг и планирование насосного оборудования в режиме реального времени обслуживающим и обслуживаемым персоналом, но также облегчает своевременное обнаружение и обслуживание отказов оборудования. Кроме того, с помощью онлайн-устройства сотрудники могут анализировать и отлаживать параметры оборудования в работе, чтобы заранее и точно определять состояние каждого оборудования, составлять планы технического обслуживания и обслуживания и разумно планировать работу оборудования для снижения.

Для этого в первую очередь составляется техническое задание, согласно, которому рассматривается технологический процесс работы БКНС, структура автоматизированной системы, идет подбор комплекса аппаратно-технических средств,

реализация алгоритмов, подбор и реализация программного обеспечения, а также моделирование самого технологического процесса.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация автоматизированной системы управления блочно-кустовой насосной станцией путем применения беспроводной сенсорной системы сбора данных.

1 Техническое задание

Настоящее техническое задание описывает задачу модернизация автоматизированной системы управления технологическими процессами Блочной кустовой насосной станции (БКНС) с беспроводной сенсорной системой.

1.1 Основные цели и задачи создания АСУ ТП

Задачи создания автоматизированной системы:

- выполнить замену проводных соединений КИПиА блочной кустовой насосной станции (БКНС) на радиоканалы связи с автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора;
- выполнить замену КИПиА на автономные датчики;
- обеспечить стабилизацию заданных режимов технологического процесса путем контроля технологических параметров, визуального представления, и выдачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы, как в автоматическом режиме, так и в результате действий технолога - оператора;
- подготовить техническую документацию концептуального проекта АСДУ БКНС.

1.2 Требования к системе

Информационно-управляющая система БКНС должна проектироваться как открытая иерархическая распределенная система с использованием стандартных протоколов межуровневого обмена.

Для осуществления выбора структуры информационно-управляющей системы, аппаратно-технического комплекса, а именно контроллеров, датчиков и

исполнительных механизмов должен быть реализован на основе альтернатив, с технико-экономическим обоснованием.

Комплекс аппаратно-технических средств должен иметь сертификаты Госстандарта РФ. Должна быть предусмотрена автономная работа всей системы на всех уровнях иерархии. Всевозможные сбои, отключения каналов контроля и измерения параметров, определяющих взрывоопасность объекта, а также любые изменения системы защиты должны фиксироваться системой. Обязателен учет и ведение статистики всех тревог и аварий.

Предусмотреть возможность аварийной остановки технологического процесса по физическим каналам.

На всех уровнях системы должна быть обеспечена защита от несанкционированного доступа к ее функциям и информации с помощью паролей, определяющих права доступа, ключей или других способов.

1.3 Требования к техническому обеспечению

Оборудование, устанавливаемое на площадки объекта должно быть устойчивым к воздействию температур от -60 °С до +60 °С и влажности не менее 80% при температуре +35 °С.

Программно-технический комплекс БКНС должен допускать возможность наращивания, модернизации и развития системы, а также дополнительно иметь резерв по каналам ввода/вывода не менее 20%.

Датчики, используемые в системе, должны отвечать требованиям взрывобезопасности. Чувствительные элементы датчиков, должны быть выполнены из коррозионностойких материалов, так как соприкасаются с агрессивной средой. Электрические цепи должны быть искробезопасными.

Все датчики, используемые в системе, должны иметь унифицированные выходные сигналы:

- 4-20 мА + HART.

Контроллеры должны иметь необходимые интерфейсы для передачи данных на верхний уровень АСУ ТП, а именно Ethernet.

1.4 Требования к метрологическому обеспечению

На стадии внедрения должна производиться метрологическая аттестация измерительных каналов системы и метрологических характеристик в целом в соответствии с ГОСТ 8009-85.

В измерительные каналы системы входят следующие компоненты: датчики, преобразователи, устройства связи с объектом (контроллеры), линии связи, программное обеспечение.

Датчики должны иметь следующие метрологические характеристики:

Погрешность средства измерения:

- Датчик избыточного давления не более $\sigma=0,25\%$;
- Датчик дифференциального давления не более $\sigma=0,25\%$;
- Датчик уровня не более $\sigma=0,5\%$;
- Датчик температуры не более $\sigma=0,3\%$;
- Датчик расхода не более $\sigma=0,5\%$;

Межповерочный интервал:

- Датчик избыточного давления не менее 3 лет;
- Датчик дифференциального давления не менее 3 лет;
- Датчик уровня не менее 3 лет;
- Датчик температуры не менее 3 лет;
- Датчик расхода не менее 3 лет;

Диапазон измерений:

- Датчик избыточного давления от 1 до 25 МПа;
- Датчик дифференциального давления от 1 до 25 МПа;
- Датчик уровня от 0 до 1000 мм;
- Датчик температуры от минус 100 до 300 °С;
- Датчик расхода от 0 до 50 м³/ч;

1.5 Требования к программному обеспечению

Программное обеспечение должно быть совместимым с существующими на объектах эксплуатации ПО.

Программное обеспечение должно быть на русском языке, иметь простой интерфейс, обладать защитными функциями в виде паролей. Программное обеспечение должно иметь возможность создавать и вести базу данных по технологическим параметрам системы, создание мнемосхем и визуализация состояния всего технологического процесса, так и отдельных объектов системы.

Средства создания специального прикладного ПО должны включать в себя технологические и универсальные языки программирования и соответствующие средства разработки (компиляторы, отладчики). Технологические языки программирования должны соответствовать стандарту IEC 61131-3.

Базовое прикладное ПО должно обеспечивать выполнение стандартных функций соответствующего уровня АС (опрос, измерение, фильтрация, визуализация, сигнализация, регистрация и др.).

Специальное прикладное ПО должно обеспечивать выполнение нестандартных функций соответствующего уровня АС (специальные алгоритмы управления, расчеты и др.)

1.6 Требования к информационному обеспечению

По результатам проектирования должны быть представлены:

- состав, структура и способы организации данных в АС;
- порядок информационного обмена между компонентами и составными частями АС;
- структура процесса сбора, обработки, передачи информации в АС;
- информация по визуальному представлению данных и результатам мониторинга.

В состав информационного обеспечения должны входить:

- унифицированная система электронных документов, выраженная в виде набора форм статистической отчетности;
- распределенная структурированная база данных, хранящая систему объектов;
- средства ведения и управления базами данных.

1.7 Требования к математическому обеспечению

Математическое обеспечение АСУ ТП – это совокупность математических моделей, методов, алгоритмов решения различных задач, используемая на этапе проектирования и в процессе эксплуатации АСУ ТП.

Прикладное программное обеспечение АСУТП должно обеспечить реализацию требуемых алгоритмов контроля, регулирования и защиты, отображения информации, сигнализации и архивирования данных.

Алгоритмы управления должны иметь возможность изменения конфигурации и реализовываться через блочные структуры.

2. Основная часть

2.1. Описание технологического процесса

Автоматизированная блочная кустовая насосная станция (АБКНС) предназначена для закачки воды в продуктивные пласты нефтяных месторождений. БКНС обычно поставляется в виде отдельных блок-боксов, изготовленных в заводских условиях и поставляемых к месту строительства. Работа БКНС осуществляется следующим образом: вода по приёмному коллектору через задвижки и фильтры, на которых задерживаются механические примеси, поступает на вход насосных агрегатов. Пройдя насосные агрегаты, жидкость под давлением 21 МПа по напорному трубопроводу, через счётчики воды, обратные клапаны и задвижки, поступает в напорный коллектор. Через обратные клапаны и задвижки отводящих водоводов блока коллекторов жидкость направляется к нагнетательным скважинам. БКНС обычно включает в себя группу однотипных насосов. Для обеспечения смазки и охлаждения подшипников основных насосных агрегатов предусмотрены индивидуальные системы смазки для каждого насоса. Подача масла к подшипникам электродвигателей осуществляется следующим образом: масло из маслобака, по приёмному трубопроводу, поступает на вход насосного агрегата. Пройдя насосный агрегат, масло под давлением по напорному трубопроводу, через маслоохладители поступает к подшипникам электродвигателей. От подшипников электродвигателей масло самотёком, через вентили, сливается в маслобак. Охлаждение масла – воздушное.

Функциональная схема приведена в приложении А.

2.2. Беспроводная сенсорная система

Беспроводная сенсорная сеть, или беспроводная датчиковая сеть, — распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков и исполнительных устройств, объединённых между собой посредством радиоканала [6].

Сеть беспроводных датчиков WSN (Wireless Sensor Networks) состоит из нескольких узлов насосных станций. Может отслеживать, воспринимать и собирать все виды информации в области развертывания узла в режиме реального времени, обрабатывать информацию и отправлять ее беспроводным способом через

беспроводную сеть и, наконец, отправлять ее в центр управления. Архитектура сети системы показана на рисунке 1.

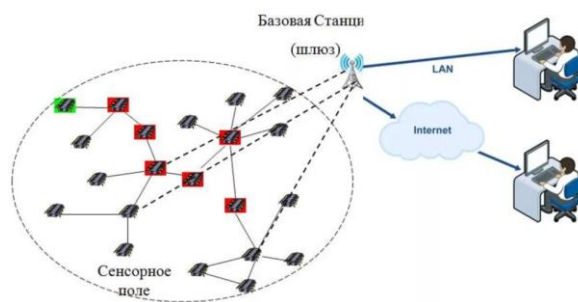


Рисунок 1 - Архитектура беспроводной сенсорной сети

Мы используем WirelessHART для создания беспроводных сенсорных систем.

2.2.1 WirelessHART

WirelessHART – это беспроводной коммуникационный протокол для узловой сети, предназначенный для автоматизации технологических процессов. Он добавляет беспроводные функции в протокол HART, сохраняя при этом совместимость с существующими HART-устройствами, командами и инструментами [7].

Каждая сеть WirelessHART состоит из трех основных элементов:

- Беспроводные полевые устройства, подсоединенные к технологическому или заводскому оборудованию. Это может быть устройство со встроенной технологией WirelessHART или уже имеющееся установленное HART-устройство с адаптером WirelessHART.
- Шлюзы обеспечивают обмен данными между этими устройствами и хост-приложениями, подсоединенными к высокоскоростной магистральной или другой имеющейся на предприятии коммуникационной сети.
- Администратор сети отвечает за конфигурирование сети, планирование обмена данными между устройствами, маршрутизацию сообщений и мониторинг состояния сети. Администратор сети может быть встроен в шлюз, хост-приложение или контроллер автоматизации технологического процесса [8].

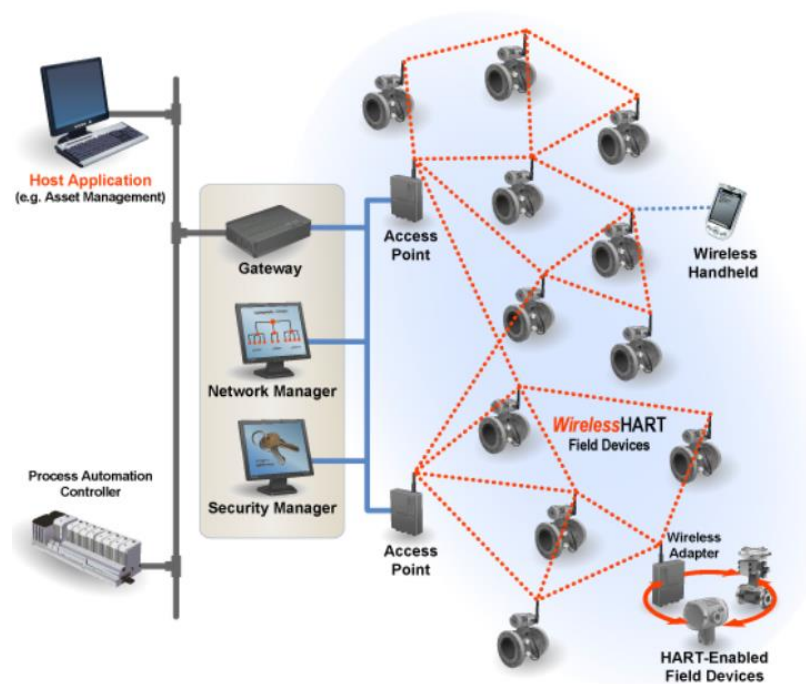


Рисунок 2 – WirelessHART сеть

2.2.2 Выбор датчиков

Для создания беспроводной сенсорной системы выберите устройство со встроенной технологией WirelessHART или уже имеющееся установленное HART-устройство с адаптером WirelessHART.

2.2.2.1 Выбор расходомера

В качестве расходомеров рассмотрим кориолисовые расходомеры:

- Метран 360;
- Micro Motion F24;
- Yokogawa Rota Mass 3;
- ЭЛЕМЕР-РЭМ.

Сравнение расходомеров приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение кориолисовых расходомеров

Параметр	Метран 360	Kobold DMH-R	Yokogawa Rotamass 3	ЭЛЕМЕР-РЭМ
Погрешность измерения	$\pm 0,1$	$\pm 0,25$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$

Выходной сигнал	4-20 мА + HART	4-20 мА + HART	4-20 мА + HART	4-20 мА + HART
Межповерочный интервал	4 года	4 года	4 года	5 года
Средний срок службы	18 лет	12 лет	12 лет	15 лет
Степень защиты	IP68	IP68	IP68	IP68
Среднее время наработки на отказ	100 000 ч	30 000 ч	170 000 ч	150000 ч
Цена	250 000	180 000	210 000	200 000

В итоге выбран расходомер ЭЛЕМЕР-РЭМ (рисунок 3), так как удовлетворяет поставленным задачам автоматизации. При этом повышенные качества надежности, в отличии от Kobold, который не удовлетворяет требованиям к надежности. Стоимость ниже, чем у Метран и Yokogawa Rotamass 3.

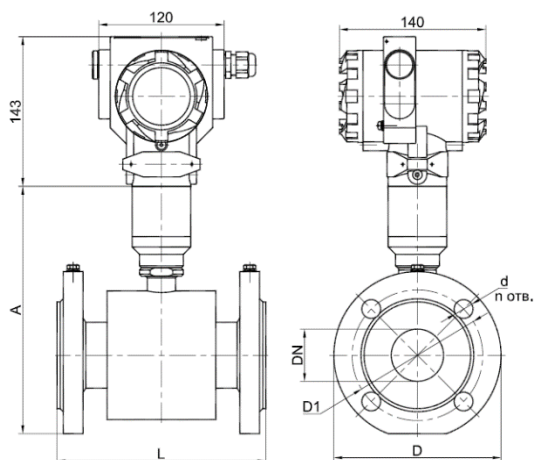


Рисунок 3 – Расходомер ЭЛЕМЕР-РЭМ

Технические характеристики приведены в таблице 2.

Рабочие среды	химически-агрессивные жидкости; вода; стоки; пищевые среды; технологические жидкости
Параметры среды	Температура — $-40...+150\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Максимальное избыточное давление — 1,6; 2,5; 4 МПа
	Минимальная электрическая проводимость среды — $2 \times 10^{-4}\text{ См/м}$
Пылевлагозащита	IP67 IP68 (для ППР)

Выходные сигналы	Импульсный
	Частотный — от 0 до 10 кГц
	Реле, 120 мА, 30 В
	Сила постоянного тока — от 4 до 20 мА
Цифровой протокол	HART (Ревизия 7.0)
Дискретный выход	2 независимых выхода с программируемой логикой срабатывания
Управление	Клавиатура (внутренняя и наружная). Поддерживается управление во взрывоопасной зоне
	HART-протокол
Электрод	Нержавеющая сталь, Хастеллой С, Титан, Тантал
Виды взрывозащиты	1Ex d IIC T6...T3 Gb X; Ex tb IIC T85 °C...T200 °C Db X 2Ex nA IIC T6...T3 Gc X; Ex tc IIC T85 °C ...T 200 °C Dc X



DN	D	A	L	D1	d	n	Масса, кг
15	95	188	200	65	14	4	3,9
20	105	196	200	75	14	4	4,5
25	115	205	200	85	14	4	5,7
32	135	215	200	100	18	4	4,9
40	145	229	200	110	18	4	7,9
50	160	247	200	125	18	4	10,5
65	180	265	250	145	18	4	13
80	195	292	250	160	18	4	15,7
100	215	308	250	180	18	8	19,5
125	245	338	300	210	18	8	25
150	280	365	300	240	22	8	32
200	335	465	350	295	22	12	46
250	405	553	450	355	26	12	73
300	460	609	500	410	26	12	94
400	580	667	600	525	30	16	150

Рисунок 4 – Закладные ЭЛЕМЕР-РЭМ

ЭЛЕМЕР-РЭМ	Exd	—	T150	1,6	ФП	НС	100	С	В05	Ф	ГОСТ	КМЧ-09
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
К1	—	БПР-02	ST	Н	t4070	24	20 КНК Ni	—	ЧМ	02.2	ГП	ТУ
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	16

№ п/п	Пункт ФЗ	Код заказа	Значение
1	Тип расходомера	ЭЛЕМЕР-РЭМ	электромагнитный расходомер-счетчик ЭЛЕМЕР-РЭМ
2	Вид исполнения	Exd	взрывонепроницаемая оболочка
3	Класс безопасности	—	не применим в данном исполнении
4	Температура измеряемой среды	T150	от -40 до +150 °C
5	Рабочее давление измеряемой среды	1,6	1,6 МПа
6	Материал футеровки	ФП	Фторопласт
7	Материал электродов	НС	нержавеющая сталь
8	Диаметр номинальный (условный проход) расходомера	100	100 мм
9	Диапазон измерений расхода среды	С	стандартный (1:100)
10	Пределы допускаемой относительной погрешности	В05	относительная погрешность ±0,5%
11	Тип присоединения к трубопроводу	Ф	фланцы
12	Стандарт исполнения фланцев	ГОСТ	по ГОСТу 33259-2015
13	Исполнение комплекта монтажных частей	КМЧ-09	стандартный состав (ответные фланцы из стали 09Г2С, болты, гайки, прокладки)
14	Конструктивное исполнение расходомера	К1	компактное с индикацией
15	Коды монтажных кронштейнов БПР (при раздельном исполнении расходомера)	—	не применим для компактной версии
16	Исполнение блока преобразования	БПР-02	БПР-02 (сигнал: импульсный, частотный, 4...20 мА + HART, реле)
17	Исполнение по выходным каналам блоков преобразования	ST	стандартный
18	Комплектация преобразователями интерфейсов	Н	HART-модем заказывается
19	Код климатического исполнения	t4070	от -40 до +70 °C
20	Электропитание	24	≈24 В постоянного тока
21	Типы кабельных вводов	20 КНК Ni	Кабельный ввод BLOCK 20 под небронированный кабель 6,5...13,9 мм, M20×1,5
22	Комплектация межблочным кабелем	—	не применим для компактной версии
23	Материал фланцев расходомера-счетчика ЭЛЕМЕР-РЭМ	ЧМ	фланцы расходомера из стали 09Г2С или аналога
24	Количество однотипных кабельных вводов	02.2	два кабельных ввода
25	Первичная поверка и (или) калибровка	ГП	поверка с отметкой в паспорте
26	Технические условия	ТУ	ТУ 26.51.52-154-13282997-2017

Рисунок 5 – заказа ЭЛЕМЕР-РЭМ

Работа электромагнитного расходомера основана на фундаментальном законе электродинамики — постулате Фарадея. Он гласит: если проводник движется в

электромагнитном поле, то возникает электродвижущая сила, которая пропорциональна скорости движения проводника.

Объемный расход рабочей среды, прошедшей через счетчик, равен произведению площади сечения трубы, выраженному в квадратных метрах, на скорость потока, в метрах за секунду. Поскольку первый множитель – величина известная и постоянная, то, для определения объема, достаточно узнать только скорость. Для этого необходимо вычислить наведенную в рабочей среде ЭДС, поскольку жидкость в данной системе является тем самым проводником, который перемещается в магнитном поле установленного на трубопроводе первичного преобразователя (рис. 6).

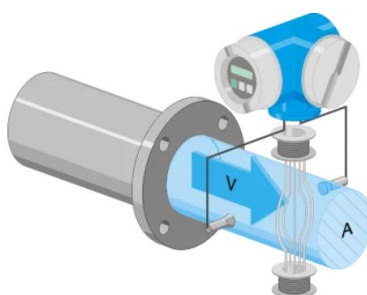


Рисунок 6

Жидкость, протекая по трубе, которая расположена между постоянными или электрическими магнитами, создает электродвижущую силу. ЭДС заставляет вращаться циферблат, который и показывает точные показания. В устройствах с жидкокристаллическим дисплеем значение ЭДС умножается на переводной коэффициент [5].

2.2.2.2 Выбор датчиков давления

В качестве датчиков давления был проведен сравнительный анализ среди следующих видов:

- Метран 150;
- Yokogawa EJXA;
- Kobold PADR.
- Элемер 100ДИ.

Таблица сравнительного анализа приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительный анализ датчиков давления

	Метран-150	Yokogawa EJXA	Элемер 100ДИ	Kobold PADR
Диапазоны пределов измерений	0–30 МПа	0–30 МПа	0–25 МПа	0–25 МПа
Предел допускаемой погрешности	0,1%	0,04%	0,15%	0,25%
Выходной сигнал	4–20мА + HART протокол	4–20мА + HART протокол	4–20мА + HART протокол	4–20мА + HART протокол
Средняя наработка на отказ	120 000 ч	150 000 ч	150 000 ч	80 000 ч

В результате анализа выбран датчик давления Элемер 100ДИ (рисунок 7). Выбор основан на том, что давление в технологическом процессе БКНС является одним из наиболее важных параметров, поэтому особое внимание уделялось средней наработке на отказ, где выбранный нами датчик превосходит другие аналоги.



Рисунок 7 – Элемер 100 ДИ

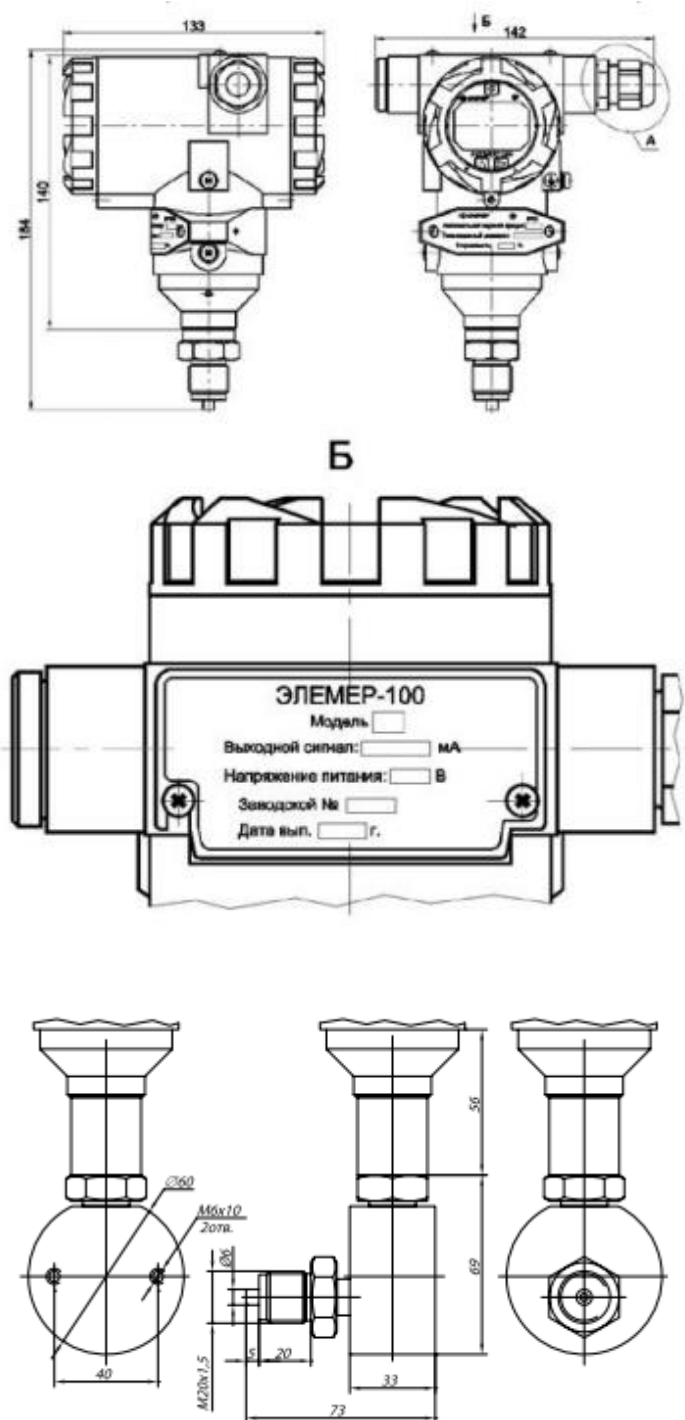


Рисунок 8 – Закладные датчика Элемер 100ДИ

Основные характеристики датчика следующие:

верхние пределы измерения давления: — 0,04 кПа...100 МПа;

выходные сигналы — 0-5 мА; 4-20 мА;

быстродействие — 100 мс;

Класс точности 0,15; 0,25; 0,5;

Воспользуемся каталогом НПП Элемер для составления заказной спецификации измерительного преобразователя давления ЭЛЕМЕР 100 ДИ.

Результат выбора представлен в виде следующей заказной спецификации.

ЭЛЕМЕР -ДИ 1160 – 02 МП t10 025 4 МПа - 42 ШР14 НМ-10Ех/U БФП СК-М20
360П ГП ТУ

Схема подключения представлена на рисунке 9.

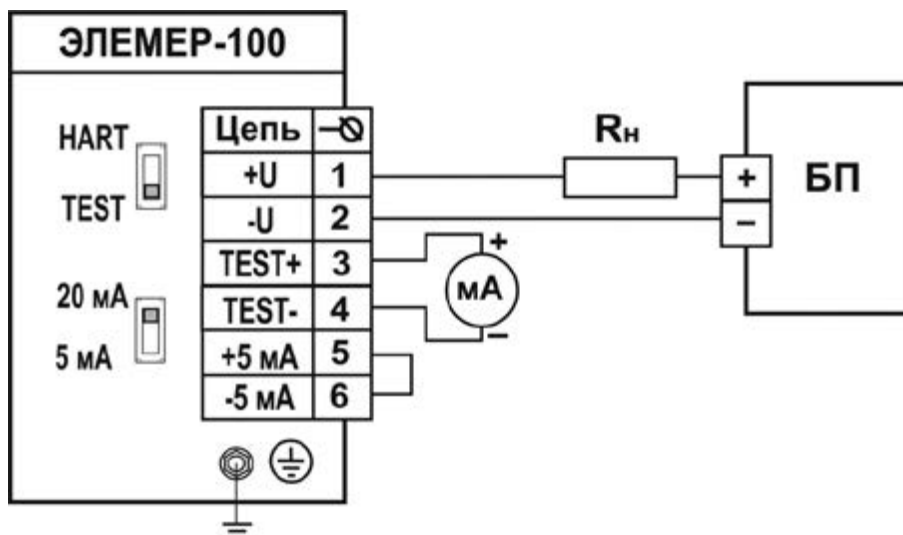


Рисунок 9-Схема подключения датчика давления Элемер -100

Датчики ЭЛЕМЕР-100 предназначены для непрерывного преобразования в унифицированный токовый выходной сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART, или цифровой сигнал на базе интерфейса RS-485 по протоколу Modbus RTU входных измеряемых величин [9].

Датчики имеют линейно-возрастающую или линейно убывающую зависимость аналогового выходного сигнала от входной измеряемой величины (давления). Датчики разности давлений ЭЛЕМЕР-100, предназначенные в соответствии с заказом для измерения расхода жидкости, газа или пара по величине переменного перепада давления на сужающем устройстве трубопровода, могут иметь зависимость аналогового выходного сигнала, пропорциональную корню квадратному из значений входной измеряемой величины — перепада давления.

2.2.2.3 Выбор датчика температуры

В качестве датчиков температуры для сравнительного анализа были выбраны:

- Метран-286;
- WIKA TR10;
- ОВЕН ДТПК-И.
- ТС-1088

Результаты сравнения сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Обзор датчиков температуры

Критерии выбора	ОВЕН ДТПК-И	Метран ТСМУ- 274	WIKA TR10-B	Метран-286
Диапазон измеряемых температур	-50 +150	-50 +180 °С	-200 +600 °С	-50...1200 °С
Предел допускаемой погрешности	0,25%	0,25%	0,1%	0,15%
Выходной сигнал	4–20мА	4–20мА + HART	4–20мА + HART	4–20мА + HART
Взрывозащищенность	ExdIICT6	ExdIICT6	EExiaIICT6	ExdeIICT6
Срок службы	5 лет	5 лет	5 лет	5 лет
Средняя наработка на отказ	30 000 ч	15 000 ч	30 000 ч	100 000 ч
Цена	8 000 руб	7 000 руб	12 000 руб	15 000 руб

В результате анализа в качестве датчика температуры был выбран WIKA TR10-B. Так как он подходит по функционалу, погрешность датчика удовлетворяет техническому заданию, а также удовлетворяет требованиям к надежности.



Рисунок 10 – Датчик температуры WIKA TR10-F

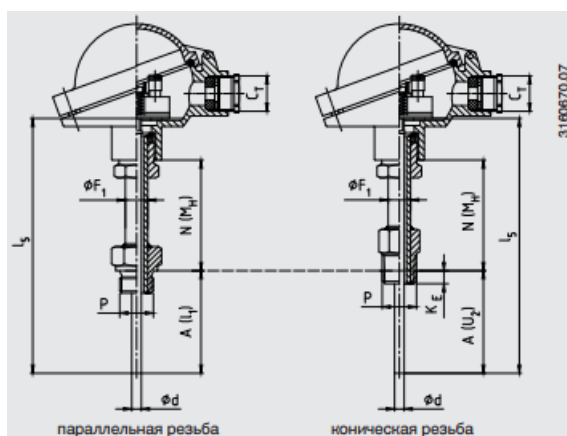


Рисунок 11 – Закладне WIKA TR10-F

2.2.2.4 Выбор уровнемера

Для выбора уровнемера был проведен сравнительный анализ, который предоставлен в таблице 5. Исходя из технического задания, основными критериями выбора послужили требования к техническому обеспечению, метрологическому, надежности.

Таблица 5 – Сравнительный анализ уровнемеров

Критерии выбора	WIKA FLM	ЭЛЕМЕР-УПП-11	KRONHE BM-100A	Метран-УЛМ-11
Предел допускаемой погрешности	$\pm 1\%$	$\pm 0,25\%$	$\pm 0,15 \%$	$\pm 0,005\%$

Выходной сигнал	4–20мА + HART	4–20мА + HART	4–20мА + HART	4–20мА + HART
Взрывозащищенность	ExdIIBT4	ExdIIBT6	ExibIIBT6-T3	ExibIIBT6-T3
Среднее время наработки на отказ	50 000 ч	100 000ч	100 000 ч	150 000 ч
Цена	12 000	20 000	35000	37 000

В ходе сравнительного анализа был выбран сигнализатор уровня Метран-УЛМ-11, так как он удовлетворяет техническому заданию, при этом повышенных требований к контролю уровня не предъявлено, так как в системе предусмотрен только замер масла.



Рисунок 12– Уровнемер Метран-УЛМ-11

Радарный уровнемер УЛМ-11 предназначен для высокоточного бесконтактного измерения уровня жидкостей или сыпучих материалов. Применяется для измерения уровня как нейтральных, так и агрессивных продуктов. Не контактирует с измеряемым продуктом, имеет защищенную обогреваемую антенну. Оптимален для коммерческих систем учета и при измерениях в сложных условиях [10].

2.2.2.5 Выбор датчика перепада давления

Для выбора датчика перепада давления, который предоставлен в таблице 6. Датчик перепада давления измеряет разницу между двумя давлениями, воздействующими на обе стороны мембраны.

Таблица 6 – Сравнительный анализ датчиков перепада давления

Критерии выбора	Метран-150CD	PIEZUS AMZ 5050	АИР-20/М2-МВ
Предел допускаемой погрешности	$\pm 0,2 \%$	$\pm 0,15\%$	$\pm 0,1 \%$
Выходной сигнал	4–20мА + HART	4–20мА + HART	4–20мА + HART
Взрывозащищенность	ExdIIBT4	1ExdIIBT6	1ExdIICT6
Срок службы	12 лет	7 лет	5 лет
Цена	42 000	35 000	37000

В ходе сравнительного анализа представленных датчиков перепада давления был выбран сигнализатор уровня AMZ 5050. Он удовлетворяет всем требованиям к техническому, метрологическому обеспечению, а также к требованиям надежности. При этом обладает самой низкой ценой среди вариантов.

Датчики давления AMZ 5050 предназначен для измерения разности давлений. Датчики обеспечивают непрерывное преобразование давления в аналоговый выходной сигнал постоянного тока и в цифровой выходной сигнал в стандарте протокола HART. Датчики предназначены для измерения давления рабочих сред: жидкости, пара, газа. Датчики предназначен для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности. Датчики предназначены для работы во взрывобезопасных и взрывоопасных условиях [11].



Рисунок 13 – Датчик перепада давления AMZ 5050

2.2.3 Выбор адаптера для WirelessHART

Преобразователь сигнала HART в беспроводной - это прибор, с помощью которого можно модернизировать любое имеющееся двух- или четырехпроводное устройство с поддержкой HART-протокола. Что позволит осуществлять беспроводную передачу данных измерений и диагностической информации, которые ранее были недоступны. Это простой способ получить доступ к уже имеющимся на вашем предприятии полевым интеллектуальным приборам для повышения качества, безопасности и надежности, а также снижения затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание [12].

Инновационная конструкция преобразователя сигнала HART в беспроводной обеспечивает считывание цифровой информации от любого устройства по HART-протоколу и получение доступа к ней при помощи радиосвязи, что позволяет полностью реализовать все преимущества интеллектуальных устройств КИПиА.

Для выбора адаптера для WirelessHART произведем оценку следующих видов :

- Беспроводной преобразователь 775 THUM™ Emerson™;
- SITRANS AW200 адаптер WirelessHART;

Для нашей системы достаточно использовать Беспроводной преобразователь 775 THUM™ Emerson™, так как по функциональным возможностям, надежности, возможностью наращивания не уступает SITRANS AW200 адаптер WirelessHART.



Рисунок 14 – Реальные габариты

Таблица 7 – Технические характеристики Беспроводной преобразователь 775 THUM™ Emerson™

Параметры	Значение
Update Rate (Частота обновления)	Выбирается пользователем: от 8 сек до 60 мин
Питание	Питание от измерительного контура
Корпус	Алюминий с низким содержанием меди или нержавеющей сталь, предусмотрена полимерная антенна
Тип антенны	Всенаправленная внутренняя антенна

Можно обеспечить беспроводную передачу данных на любом устройстве HART® с помощью преобразователя сигнала Emerson 775 (THUM™), который обеспечивает модернизацию существующих 2-, 3- и 4-проводных устройств HART, установленных во взрывоопасной среде. Преобразователь сигнала HART в беспроводной Rosemount 775 обеспечивает беспроводную передачу данных переменных процесса и диагностики HART для новых или ранее недоступных точек измерения. Благодаря самоорганизующейся беспроводной сети WirelessHART® можно дистанционно управлять многопараметрическими устройствами, контролировать их состояние и собирать с них информацию с надежностью передачи данных >99 % [12].

2.2.4 Выбор шлюза для WirelessHART

Данные HART передаются по беспроводной сети в шлюз Smart Wireless. Шлюз сводит воедино данные от всех устройств в один централизованный узел.

Исходя из выше проведенного анализа датчиков были выбраны адаптеры одной компании «Emerson», следовательно, целесообразно использовать шлюз связи с датчиками этой же компании во избежании конфликтов. Рассмотрим беспроводной шлюз Rosemount 1420 (рисунок 15). Технические характеристики представлены в таблице 2.



Рисунок 15 – Беспроводной шлюз Emerson 1420

Таблица 8 – Технические характеристики Беспроводной шлюз Emerson 1420

Параметры	Значение
Питание	10,5-30 В пост. тока или питание по Ethernet 50-57 В пост. тока, выходная мощность по IEEE 802.3at-2009 – макс. 25,5 Вт
Материал корпуса	Алюминиевый сплав с низким содержанием меди, NEMA 4X
Рабочая температура	от -40 до 70 °C (от -40 до 158 °F)
Тип антенны	Внешняя антенна; комплект выносной антенны с кабелем 15,2 м; комплект выносной антенны с кабелями 6,1 и 9,1 м; комплект выносной антенны с кабелями 3 и 12,2 м; выносная антенна с высоким

	коэффициентом усиления с кабелем 7,6 м
Сертификация	Сертификат невоспламеняемости U.S.A раздел 2, CSA раздел 2, ATEX тип n, пылестойкости ATEX, МЭК Ex тип n, пылестойкости МЭК Ex, невоспламеняемости FM и CSA раздел 2 и ATEX тип n, KHP тип n, TIS тип n, Технического регламента Таможенного Союза (ЕАС) тип n

Разработанный с учетом обеспечения защиты от взлома, возможностей масштабирования и надежности передачи данных, беспроводный шлюз Emerson™ 1420 связывает самоорганизующиеся беспроводные сети WirelessHART® с хост-системой и программным обеспечением верхнего уровня. Этот беспроводной шлюз объединяет в сеть до 100 устройств и может устанавливаться вне помещения. Может подключаться к устаревшим хост-системам. Добавление устройств выполняется быстро и легко и не требует перенастройки каналов связи [13].

2.3. Разработка структурной схемы АС

Структурная схема автоматизированной системы будет основана на трехуровневой иерархической системе. Трехуровневая структурная схема АС приведена в приложении Б.

Нижний уровень системы представляет собой первичные средства измерений. Полевой уровень разрабатываемой системы будет состоять из следующих датчиков:

- датчики избыточного давления;
- датчики дифференциального давления;
- датчики температуры;
- датчики уровня;
- датчики расхода;

Датчик подключается к устройству HART с помощью адаптера WirelessHART. Адаптер WirelessHART это запитываемое от аккумулятора коммуникационное устройство, которое объединяет полевые устройства с HART протоколом и выходами 4 ... 20 мА в беспроводную сеть WirelessHART. Со стороны беспроводных коммуникаций адаптер поддерживает стандарт WirelessHART. Со стороны полевых устройств поддерживаются сигналы HART и 4-20 мА.

Шлюз Emerson 1420 позволяет выполнять беспроводную диагностику и обслуживание датчиков, а также осуществлять мониторинг процесса.

Шлюз Emerson 1420 выполняет обмен данными между беспроводными HART и контроллером.

Средний (контроллерный) уровень представляет собой контроллерное оборудование. Программируемые логические контроллеры, выполняющие функцию сбора информации, ее обработки, выдачу воздействий на исполнительные механизмы, хранение и отправку информации на верхний уровень. Контроллеры устанавливаются в пылевлагозащищенный шкаф, датчики и исполнительные механизмы

подключаются при помощи модулей ввода/вывода через защищенный кабельный ввод и барьер искрозащиты.

Информация с контроллеров поступает на верхний уровень системы, который состоит из SCADA-серверов, коммутатора сети Ethernet, персональных компьютеров (ПК) станций оператора. Доступ к информации из локальной сети осуществляется общедоступными средствами (OPC, SQL и т.п.). Связь компонентов системы (контроллеров среднего уровня, SCADA - серверов, станций оператора) осуществляется по сети Ethernet (витая пара).

Система управления обеспечивает непрерывное ведение технологического процесса, сохраняет свои основные функции при выходе из строя отдельных элементов.

2.4 Функциональная схема автоматизации

Функциональная схема автоматизации (ФСА) предназначена для отображения основных технических решений, принимаемых при проектировании систем автоматизации технологических процессов [1].

Функциональная схема автоматизации обеспечивает ясную иллюстрацию и позиционную информацию всего автоматизированного оборудования, трубопроводов и приборов всем работникам, которые хотят понять процесс [1].

Функциональная схема автоматизации является техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации. На функциональной схеме автоматизации изображаются системы автоматического контроля, регулирования, дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировок.

При разработке функциональной схемы автоматизации технологического процесса решены следующие задачи:

- задача получения первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;

- задача контроля и регистрации технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования.

В данной работе функциональная схема автоматизации разработана в соответствии с требованиями ГОСТ 21.208-2013 «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах» и ГОСТ 21.408-2013 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов», представлена в Приложении В.

2.5 Разработка схемы информационных потоков БКНС

Необходимо обратить внимание на то, что всего есть три уровня сбора и хранения информации:

- нижний уровень (сбор и обработка);
- средний уровень (текущее хранение);
- верхний уровень (архивное хранение).

Параметры, передаваемые в локальную вычислительную сеть в формате стандарта OPC, включают в себя:

- избыточное давление на входе насосов;
- избыточное давление на выходе насосов;
- дифференциально давление на фильтрах;
- уровень конденсата в дренажной емкости;
- расход воды на входе/выходе КНС;
- температура подшипников;
- температура масла.

Рассмотрим каждый из уровней подробнее. На нижнем уровне происходит сбор данных с датчиков, как правило, собираются аналоговые и дискретные сигналы, а также данные о вычислении и преобразовании.

Средний уровень является маршрутизатором информационных потоков от систем автоматики и телемеханики к экранным формам АРМ. На

данном уровне ПЛК формирует пакетные данные и отправляет их на верхний уровень к SCADA-системам.

Верхний уровень представляет из себя базу данных АСУ ТП. Информация на данном уровне отображается в виде экранных форм или мнемосхем, которые видит оператор на своём мониторе. На форме выводятся различные информационные и управляющие элементы, а также отчеты.

Для того чтобы идентифицировать элементы контроля и управления используются идентификаторы (шифры). Структура идентификатора имеет вид:

AAA_BBB_CCC, где:

- AAA – параметр, 3 символа, может принимать следующие значения:
 - PRS – давление;
 - TMP – температура;
 - LVL – уровень;
 - PRD – перепад давления;
 - FLW – расход.
- BBB – код технологического аппарата, 3 символа, может принимать

следующие значения:

- TNK1 – резервуар маслосистемы 1;
- MTR0 – привод насоса;
- FTR – фильтр;
- VHD – входной трубопровод;
- VYH – выходной трубопровод;
- DVG – двигатель;
- KNS – КНС;
- SEP – сепаратор;
- MAS – маслосистема;
- CCC – уточнение, не более 3 символов:
- NEFT – нефть;

- VODA – вода;
- MASL – масло;

2.6 Выбор средств реализации БКНС

2.6.1 Выбор контроллерного оборудования БКНС

В качестве ПЛК в данной работе был выбран Mitsubishi Electric (рисунок 16).



Рисунок 16 – Mitsubishi Electric, MELSEC L

Mitsubishi Electric MELSEC L является модульным программируемым контроллером, специально разработанным для системы автоматизации зданий средней сложности [4].

MELSEC-L внедряет инновации и развивает вашу производственную площадку. Его перспектива сайта обеспечивает превосходную простоту использования.

MELSEC-L разработан на основе страсти к творчеству, надежным технологиям и надежности. Эта концепция также применима к установке и эксплуатации системы.

Благодаря различным функциям I/O в качестве стандартных включений серия MELSEC-L позволяет повысить эффективность работы за счет удобства, простоты использования и разнообразного управления [4].

Таблица 9 – Технические характеристики процессорного модуля L02SCPU

Объем памяти	32 КБ
--------------	-------

Вес		0,32 кг
Адреса ввода-вывода		1024/8192
Языки программирования		LAD, FBD, STL, SCL, GRAPH
Степень защиты		IP20
Встроенные функции	Встроенные входы/выходы	16 входов (24 В пост.т.) /8выходов (5-24 В пост.т., 0.1 А на канал)
	Регистрация данных	10 настроек регистрации данных (для каждой можно задать 32-4832 Кб)
	Интерфейс связи	RS232, USB
	Подключение CC-Link	—

2.6.2 Выбор исполнительных механизмов

2.6.2.1. Выбор насосного агрегата

В качестве насосного агрегата для перекачки воды был выбран насос 1Д315-71 (рисунок 17).



Рисунок 17 – Насос 1Д315-71

Насос 1Д315-71 – представляет собой горизонтальный, одноступенчатый, с рабочим колесом двустороннего входа, центробежный электронасос для перекачивания воды. Для привода агрегата применяется асинхронных электродвигатель АИР280S2.

Таблица 10. Технические характеристики 1Д315-71

Подача	315 м ³ /ч
Напор	71 м
Диаметр рабочего колеса	240 мм
Кавитационный запас	6,3 м

Таблица 11. Технические характеристики АИР280S2

Мощность	110 кВт
Частота вращения	2975 об/мин
Ток статора	198 А
КПД	93,7 %
Коэффициент мощности	0,9

2.6.2.2. Выбор насосов маслосистемы

В качестве насосов для перекачки масла в маслосистеме используются насосы Viscomat 60/2 (рисунок 18).



Рисунок 18 – Насос Viscomat 60/2

Шестеренчатый насос для различных масел Viscomat 60/2 предназначен для перекачки большого количества продукта при среднем давлении.

Таблица 12. Технические характеристики Viscomat 60/2

Производительность	0,6 м ³ /ч
Давление	0,4 МПа
Напряжение питания	24 В
Уровень шума	70 дБ
Вес	4,9 кг
Цена	17000 рублей

2.6.2.3. Выбор преобразователя частоты

Исходя из параметров электропривода насосного агрегата, а именно мощности и номинального тока статора, был выбран преобразователь частоты HYUNDAI N700V-1100HF (рисунок 19).



Рисунок 19 – Преобразователь частоты HYUNDAI N700V-1100HF

Таблица 13. Технические характеристики HYUNDAI N700V-1100HF

Область применения	насосы / вентиляторы / общепром
Мощность	110 кВт
Номинальный ток	217 А
Напряжение питания	380 В
Выходная частота	0,1...400 Гц
Пылевлагозащищенность	IP 20
Перегрузка (в течение минуты)	150%
Цифровой интерфейс/протокол	порт RS485/ Modbus
ПИД-управление	ПИД-регулятор встроен
Диапазон рабочих температур	-10...+50 °С

Задачей выбора программно-технических средств реализации проекта АС является анализ вариантов, выбор компонентов АС и анализ их совместимости.

Программно-технические средства АС БКНС включают в себя: измерительные и исполнительные устройства, контроллерное оборудование, а также системы сигнализации.

Измерительные устройства осуществляют сбор информации о технологическом процессе. Исполнительные устройства преобразуют электрическую энергию в механическую или иную физическую величину для осуществления воздействия на объект управления в соответствии с выбранным алгоритмом управления. Контроллерное оборудование осуществляет выполнение задач вычисления и логических операций.

2.7 Выбор алгоритмов управления АС БКНС

В автоматизированных системах используются различные алгоритмы, такие как:

- алгоритмы запуска/останов технологического оборудования;
- ПИД-алгоритмы, для автоматического регулирования технологических параметров;
- алгоритмы защиты;
- алгоритмы централизованного управления.

При выполнении блок-схем алгоритмов использовались элементы согласно ГОСТ 19.701-90.

2.7.1 Разработка алгоритма пуска

Данный алгоритм запускает насосный агрегат в работу. Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Проверка поступления команды от оператора, если нет, то ничего не происходит.
2. Проверяется давление на всасывающей (наличие воды), если оно не в норме, то выдается соответствующее сообщение.
3. Проверяется уровень масла в резервуаре 1, если он не в норме, то выдается соответствующее сообщение.
4. Проверяется температура подшипников привода, если она не в

норме, то выдается соответствующее сообщение.

5. Проверяется температура подшипников насоса, если она не в норме, то выдается соответствующее сообщение.

6. Проверяется перепад давления на фильтрах , если он не в норме, то выдается соответствующее сообщение.

7. Команда на ПЧ для запуска привода.

– Алгоритм пуска.

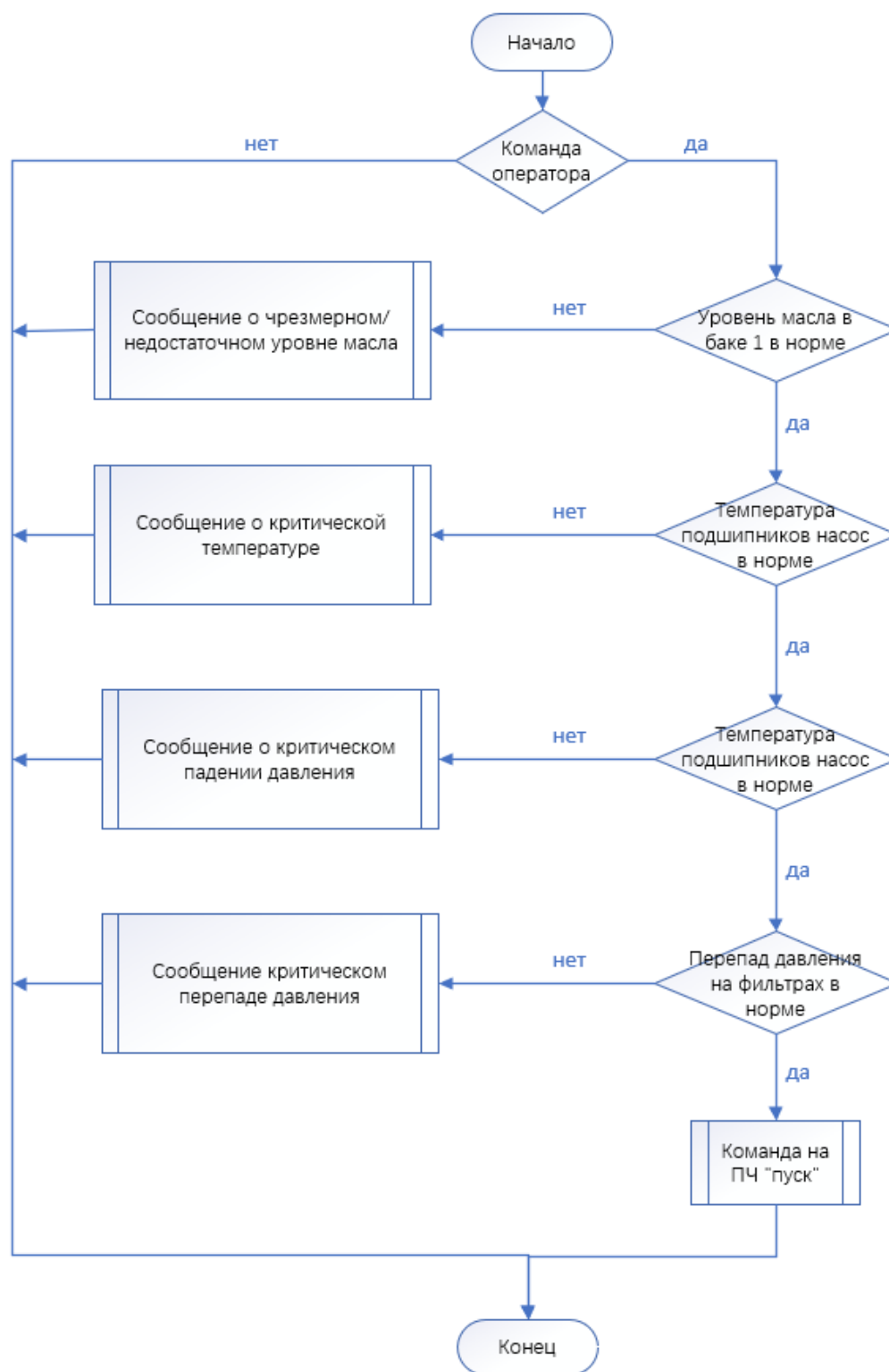


Рисунок 20-Алгоритм пуска

2.7.2 Разработка алгоритма останова

Данный алгоритм останавливает насосный агрегат. Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Проверка поступления команды от оператора, если нет, то ничего не

происходит.

2. Обнуление счетчика команд.

3. Команда на ПЧ для остановки привода.

4. Проверка остановки привода. Если не остановлен, увеличение значение счетчика, на 1, далее проверка значения счетчика, при значении равном 10 выдается сообщение об аварии, при значении меньшем 10 возврат к 3 пункту алгоритма. Если провод остановлен, то продолжает выполнение алгоритма и выполняется пункт 5.

5. Остановка насоса маслосистемы привода.

6. Остановка насоса маслосистемы насоса.

– Алгоритм останова.

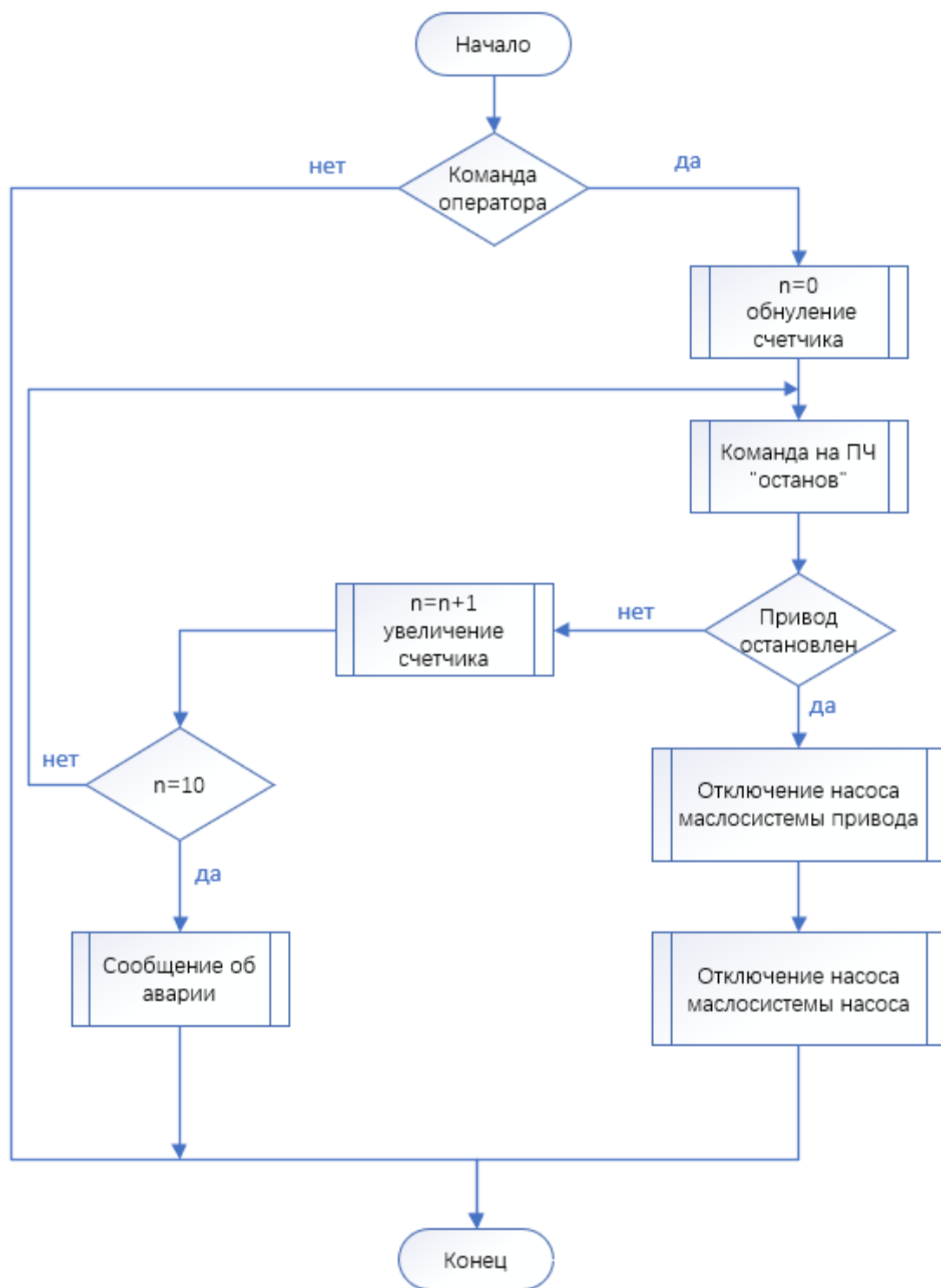


Рисунок 21-Алгоритм останова

2.7.3 Алгоритм автоматического регулирования технологическим параметром

В данном пункте описан алгоритм поддержания заданного давления в трубопроводе линии нагнетания насоса, который обеспечивает необходимую степень регулирования, а также малое время выхода на заданный режим и

допустимую чувствительность к внешним воздействиям.

«ПИД-регулятор – преобразующее устройство, формирующее на основе ошибки e управляющее воздействие на объект управления» [2].

«Формирование управляющего сигнала осуществляется на основании суммы трёх составляющих, первое из которых пропорционально сигналу рассогласования, второе интеграл сигнала рассогласования, третье является производной сигнала рассогласования» [3].

Основные элементы схемы: входное воздействие (уставка), ПЛК (реализующий функцию ПИД- регулятора), преобразователь частот, асинхронный двигатель (привод), возмущение, объект управления (трубопровод) и датчик давления (является обратной связью).

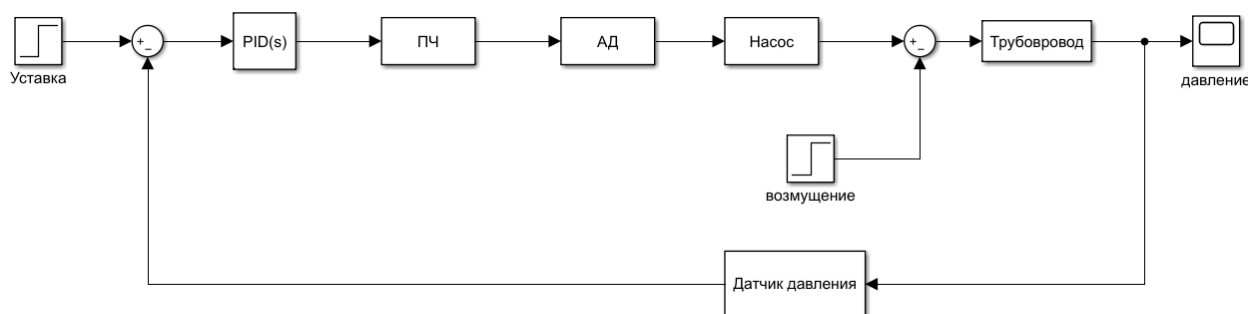


Рисунок 22 – Схема автоматического регулирования

Объектом управления является участок трубопровода нагнетательной линии. Оператор с помощью экранной формы задает давление, которое необходимо поддерживать в трубопроводе. Эта уставка подается в ПЛК, где происходит сравнение уставки со значением текущего давления, полученного с датчика давления. Затем происходит формирование выходного сигнала, этот сигнал подается на преобразователь частот, который формирует частоту для асинхронного двигателя. Линеаризованные уравнения, описывающие работу систем:

Преобразователь частоты:

ПЧ формирует частоту для асинхронного двигателя, поэтому его передаточная функция будет определяться коэффициентом преобразования:

$$W_{\text{пч}} = \frac{k_{\text{пч}}}{T \cdot s + 1}. \quad (1)$$

Коэффициенты определяются по формулам:

$$k_{пч} = \frac{f}{U} = \frac{60\text{Гц}}{10\text{В}} = 6. \quad (2)$$

где:

f – максимальная частота тока статора;

U – максимальное напряжение, подаваемое с устройства управления.

Постоянную времени преобразователя частоты примем равной $T_{пч} = 0,08$ и получим передаточную функцию:

$$W_{пч} = \frac{6}{0,08 \cdot s + 1}.$$

Асинхронный двигатель:

АД представляет из себя аperiodическое звено, которое преобразует энергию электрическую энергию в угловую скорость вращения вала:

$$W_{АД} = \frac{k_{АД}}{T \cdot s + 1} \quad (3)$$

Коэффициент передачи двигателя определяется как отношение угловой $\omega_{АД}$ скорости к частоте питающей сети f , в номинальном режиме:

$$k_{АД} = \frac{\omega_{АД}}{f} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 2975}{60 \cdot 50} = 6.23. \quad (4)$$

Постоянную времени двигателя примем равной $T_{АД} = 0,9$ и получим передаточную функцию:

$$W_{АД} = \frac{6.23}{0.9 \cdot s + 1}.$$

Насос:

Насос представляет из себя аperiodическое звено, которое преобразует скорость вращения вала в энергию, сообщаемую перекачиваемой жидкости (производительность насоса):

$$W_{н} = \frac{k_{н}}{T \cdot s + 1}. \quad (5)$$

Коэффициент передачи насоса в статическом режиме определяется как отношения производительности (объем перекачиваемой жидкости в

единицу времени) Q к номинальной скорости асинхронного двигателя (привода) АД:

$$k_n = \frac{Q}{\omega_{\text{АД}}} = \frac{315}{311} = 1,01. \quad (6)$$

Постоянную времени насоса примем равной $T_n = 0,2$ и получим передаточную функцию:

$$W_n = \frac{1,01}{0,2 \cdot s + 1}.$$

Трубопровод:

Передаточная функция объекта управления описывается апериодическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{тр}} = \frac{k_{\text{тр}}}{T \cdot s + 1}. \quad (7)$$

Укажем в таблице все необходимые характеристики трубопровода.

Таблица 14. Характеристики трубопровода

Характеристика	Значение
Диаметр трубы, d	0,15 м
Объемный расход, Q	0,0875 м ³ /с (315 м ³ /ч)
Длина участка, L	20 м

Коэффициенты определяются по формулам:

$$k_{\text{тр}} = \frac{P}{Q} = \frac{27 \text{ МПа}}{315 \text{ м}^3/\text{ч}} = 0,0857, \quad (8)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} = 0,01765, \quad (9)$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,0875}{0,01765} = 4,95751, \quad (10)$$

$$T = \frac{L}{v} = \frac{20}{4,95751} = 4. \quad (11)$$

Получаем передаточную функцию трубопровода:

$$W_{\text{тр}} = \frac{0,0857}{4 \cdot s + 1}.$$

Датчик давления:

Так как датчик давления преобразует значение давления в токовый сигнал его передаточная функция будет выглядеть:

$$W_d = 1. \quad (12)$$

Получаем математическую модель системы (рисунок 23).

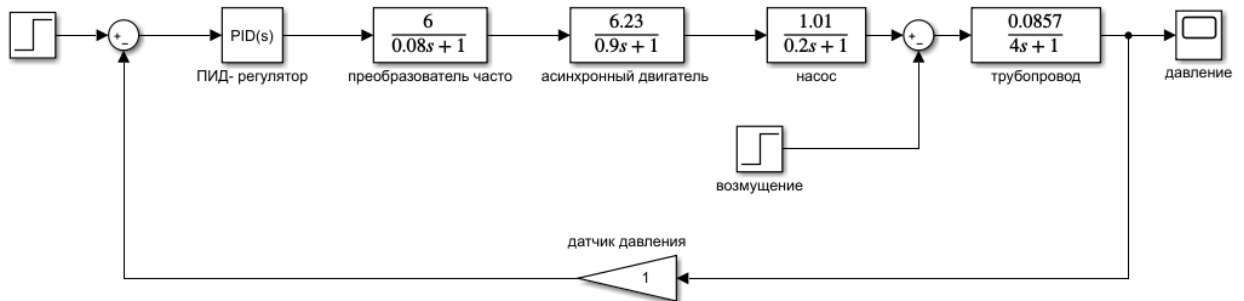


Рисунок 23 – Система автоматического регулирования

Controller parameters

Source:

Proportional (P):

Integral (I):

Derivative (D):

☒ Use filtered derivative

Filter coefficient (N):

Рисунок 24 – Коэффициенты ПИД-регулятора

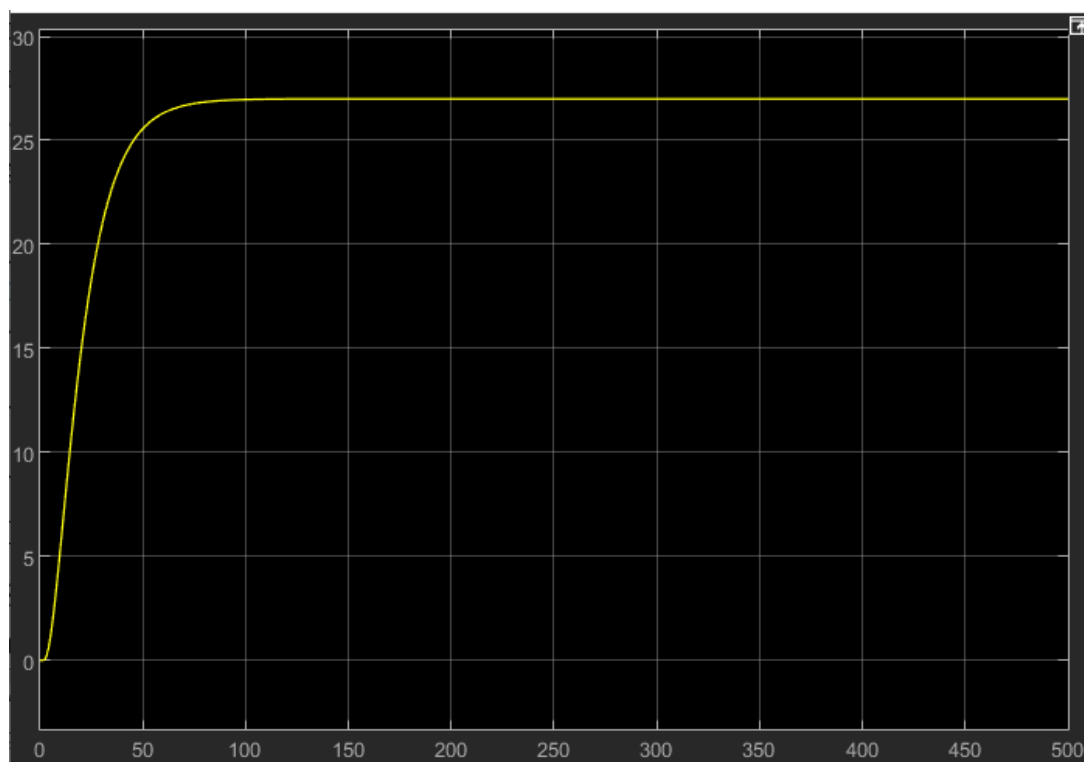


Рисунок 25 – График переходного процесса

Посмотрев на осциллограф, обнаружили, что для нашей системы достаточно только ПИ-регулятора.

Из диаграммы передаточной функции видно, что система имеет гладкий монотонный процесс, а система устойчива в отношении управляющих воздействий. Стабильное значение составляет 27 МПа. Статические ошибки полностью исключены, и понятно, что когда в процесс вносятся возмущающие воздействия, система о них позаботится.

2.8 Экранные формы АС БКНС

«SCADA— это система, предназначенная для мониторинга и управления полевыми устройствами на удаленных объектах. Системы SCADA имеют решающее значение, поскольку они помогают поддерживать эффективность за счет сбора и обработки данных в режиме реального времени.».

Управление в АС БКНС реализовано с помощью SCADA-системы Trace Mode 6.09. В России наиболее перспективной САПР прикладного ПО АСУ является TRACE MODE.

Мнемосхема необходима для того, чтобы операторы могли контролировать и управлять техническими процессами в удобной для пользователя форме. Мнемосхема также позволяет создавать отчеты и обмениваться информацией с другими программами.

Разработанная экранная форма представлена в приложении Г.

Экран дисплея разделен на две части. Верхняя часть экрана - это окно системных сообщений, в котором отображаются последние напоминания и кнопки сервиса. Остальная часть экрана используется для отображения главного и дополнительного окна управления и наблюдения. в полноэкранном режиме появится Главное окно команд и управления.

2.9 Определение показателей надежности

Надежность является внутренним свойством системы, которое закладывается при ее проектировании и проявляется вовремя ее эксплуатации.

В реализации системы принимают участие n датчиков ($n=5$), m адаптеры ($m=5$), шлюз, ПЛК и соединение между шлюзом и ПЛК.

Для проведения расчетов и последующей оценки результатов была составлена спецификация элементов проектируемой системы (таблица 15).

Таблица 15 – Спецификация элементов проектируемой системы

№	Параметр	Тип датчика	Количество	Описание
1	Расход электропроводящих жидкостей	ЭЛЕМЕР-РЭМ	1	Электромагнитный расходомер
2	Давления воды на выходе из насоса	Элемер 100 ДИ	1	Датчик избыточного давления
3	Температура подшипников насоса	WIKA TR10-F	1	Термометр
4	Уровень конденсат в дренажной емкости	Метран-УЛМ-11	1	Уровнемер
5	Дифференциальное давление на фильтрах	AMZ 5050	1	Датчик дифференциального давления

	входа насосов и маслосистемы			
6	Адаптера для WirelessHART	Emerson	5	Преобразователь сигнала HART в беспроводной
7	Шлюз связи с нижним уровнем	Emerson	1	Беспроводной шлюз
8	ПЛК	Mitsubishi Electric	1	ПЛК среднего уровня
9		Клеммные соединения	1	

В проектируемой системе не предусматривается резервирования элементов системы, соответственно отказ какого-либо элемента системы приведет к нарушению работоспособности всей системы. С учетом этого, структурная схема надежности, проектируемой САУ имеет вид последовательно соединённых элементов системы, структурная схема отображена на рисунке 26.

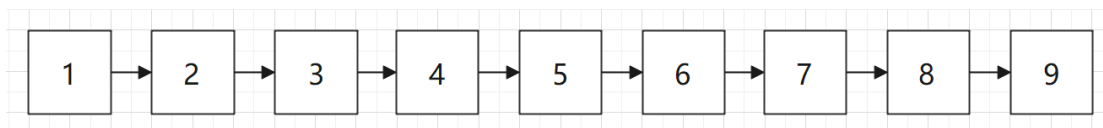


Рисунок 26 – Структурная схема надежности аппаратной части проектируемой системы

Система спроектирована с использованием высоконадежных элементов, которые имеют интенсивность отказов порядка 10^{-5} ч^{-1} , поэтому в модели надежности был использован пуассоновский поток. В этом случае распределение времени наработки до отказа подчиняется экспоненциальному закону, соответственно будет определяться по следующей формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda t}.$$

В качестве показателя надежности используется среднее время наработки на отказ, которое связано с интенсивность отказов элементов системы $\lambda_i(t)$ следующим соотношением:

$$\lambda_i(t) = \frac{1}{T_i}.$$

Далее по этой формуле были рассчитаны значения интенсивности отказов элементов системы и записаны в таблицу 3.

Время наработки на отказ элементов системы были взяты из технических характеристик элементов, источники которых приведены в интернет.

Таблица 16 – Спецификация элементов проектируемой системы с указанием интенсивности отказов

№	Тип датчика	оли- чес- тво	$T_i \cdot 10^5, ч$	$\lambda_i \cdot 10^{-5}, ч^{-1}$	$\sum \lambda_i \cdot 10^{-5}, ч^{-1}$
1	ЭЛЕМЕР-РЭМ	1	1,5	0,6670	0,6670
2	Элемер 100 ДИ	1	0,7600	1,3160	2,6320
3	WIKA TR10-F	1	1,0000	1,0000	3,0000
4	Метран-УЛМ-11	1	2,5	0,4000	0,4000
5	AMZ 5050	1	1,5	0,667	2,000
6	Emerson	5	0,8	1,250	1,250
7	Emerson	1	0,8	1,250	1,250
8	Mitsubishi Electric	1	1	1,000	1,000
	Клеммные соединения	1	20	0,050	0,050

После расчета значений интенсивности отказов элементов проектируемой системы было рассчитано распределение времени наработки на отказ для каждого элемента системы по экспоненциальному закону:

$$P_1(t) = e^{-0,6670 \cdot t};$$

$$P_2(t) = e^{-1,3160 \cdot t};$$

$$P_3(t) = e^{-1,0000 \cdot t};$$

$$P_4(t) = e^{-0,4000 \cdot t};$$

$$P_5(t) = e^{-0,667 \cdot t};$$

$$P_6(t) = e^{-1,250 \cdot t};$$

$$P_7(t) = e^{-1,250 \cdot t};$$

$$P_8(t) = e^{-1,000 \cdot t};$$

$$P_9(t) = e^{-0,050 \cdot t}.$$

Для последовательного соединения вероятность безотказной работы всей системы равна произведению вероятностей безотказной работы каждого элемента, функция надежности САУ:

$$P_{\text{САУ}} = \prod_{i=1}^k P_i(t).$$

Подставляя в формулу (3) ранее определенные значения интенсивности отказов элементов, получим:

$$P_{\text{САУ}} = \prod_{i=1}^k P_i(t) = e^{-26,660 \cdot 10^{-5} \cdot t}.$$

Чтобы определить время надежной работы $T_{\text{НР}}$, соответствующее времени, когда вероятность безотказной работы системы $\geq 0,9$ был построен график зависимостей $P(t)$, график представлен на рисунке 27.

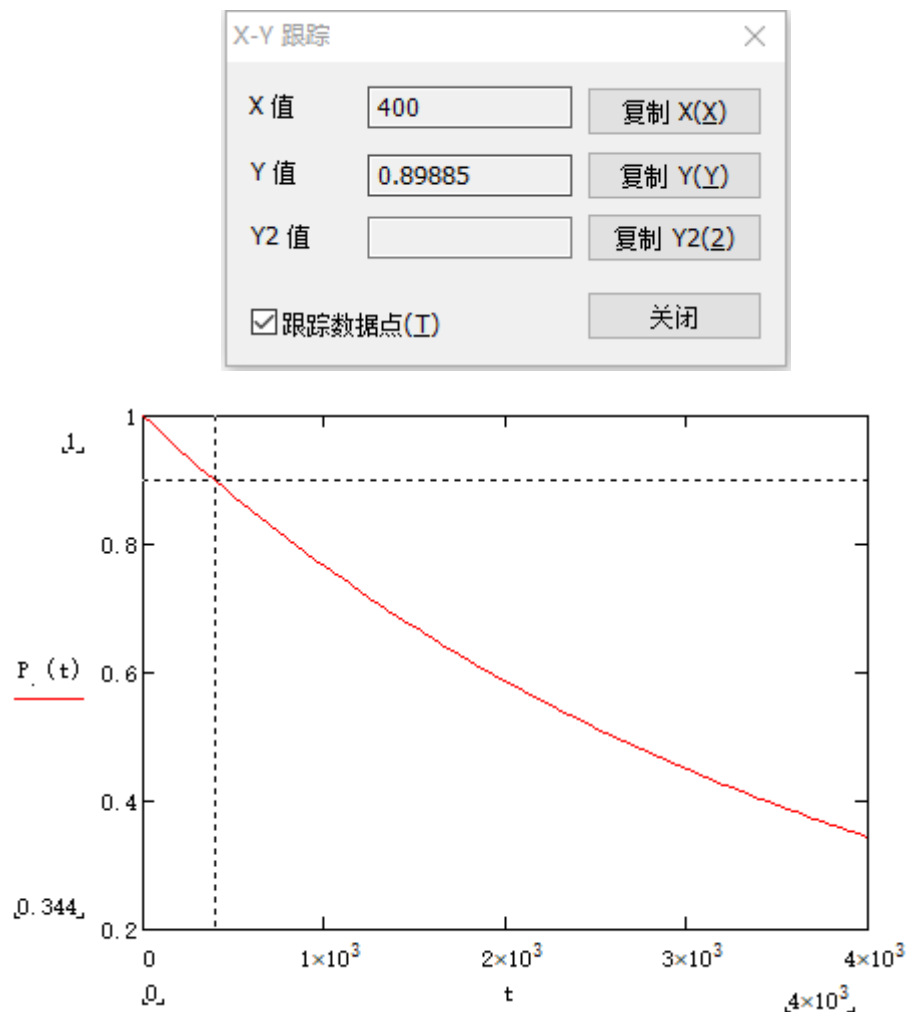


Рисунок 27 – График зависимости $P(t)$ для проектируемой САУ

С помощью функции трассировки в математическом пакете Mathcad на графике было определено время надежной работы T_{HP} САУ:

$$T_{CP} = \frac{1}{\sum \lambda_{ACU}} = 400 \text{ (часов)}.$$

Среднее время наработки на отказ САУ было определено по формуле:

$$T_{CP} = \frac{1}{\sum \lambda_{ACU}} = 3.751 \cdot 10^3 \text{ (часов)}.$$

Среднее время наработки на отказ САУ удовлетворяет требованиям техническим требованиям. Поэтому в дополнительном резервировании элементов системы необходимости нет.

Так как проектируемая САУ является ремонтируемой и восстанавливаемой в процессе эксплуатации, то необходимо определить показатель ремонтпригодности.

Согласно требованиям технического задания, проектируемая система комплектуется ЗИП в необходимом объеме, а также стоит отметить, что в условиях реального производства ЗИП комплектуется в расчете на несколько однотипных элементов. Так как в проектируемой системе используются однотипные элементы это сокращает среднее время восстановления работоспособности с использованием комплекта ЗИП до 2-х часов.

Коэффициент готовности K_G является одним из основных показателей ремонтпригодности. Он характеризует надежность восстанавливаемой системы. Коэффициент готовности K_G был найден по следующей формуле:

$$K_G = \frac{T_{CP}}{T_{CP} + T_B} = \frac{3.751 \cdot 10^3}{3.751 \cdot 10^3 + 2} = 0.99947.$$

В итоге были оценены такие показатели надежности АС как интенсивность отказов элементов проектируемой системы, среднее время наработки на отказ, а также время надежной работы системы и оно составляет 400 часа.

Также были определены среднее время наработки на отказ САУ и коэффициент готовности, первый равен 3751 часов, а второй равен 0,99947.

3. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются коммерческие организации в нефтегазовой отрасли, в частности нефтеперерабатывающие заводы, предприятия, имеющие БКНС для транспортировки нефти и газа. Научное исследование рассчитано на крупные предприятия, имеющие БКНС. Для данных предприятий разрабатывается автоматизированная система контроля и управления добычей и транспортировкой нефти, а также автоматическая система регулирования определенными параметрами технологического процесса.

В таблице 17 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика, направление деятельности. Буквами обозначены компании: «А» - ООО «Нефтестройпроект», «Б» - ОАО «ТомскНИПИнефть», «В» - ЗАО «ЭлеСи»

Таблица 17 – карта сегментирования рынка

		Направление деятельности			
		Проектирование строительства	Выполнение проектов строительства	Разработка АСУ ТП	Внедрение SCADA систем
Размер	Мелкая	А, Б, В	А, Б	Б, В	В
	Средняя	А, Б, В	А, Б	В	В
	Крупная	Б, В	А	В	В

Согласно карте сегментирования, можно выбрать следующие сегменты рынка: разработка АСУ ТП и внедрение SCADA-систем для средних и крупных компаний.

3.2 Анализ конкурентных технических решений

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты (таблица 18). Для оценки эффективности научной разработки сравниваются проектируемая система АСУ ТП БКНС, существующая система управления БКНС, и проект АСУ ТП сторонней компанией.

Таблица 18 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Проект АСУ	Существующая система	Разработка АСУ	Проект АСУ	Существующая система	Разработка АСУ
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности	0,05	5	1	4	0,25	0,05	0,2
Удобство в эксплуатации	0,06	3	2	4	0,18	0,12	0,24
Помехоустойчивость	0,05	2	3	2	0,1	0,15	0,1
Энергоэкономичность	0,09	3	4	2	0,27	0,36	0,18
Надежность	0,11	5	2	5	0,55	0,22	0,55
Уровень шума	0,03	2	2	2	0,06	0,06	0,06
Безопасность	0,11	5	3	5	0,55	0,33	0,55
Потребность в ресурсах памяти	0,03	2	5	3	0,06	0,15	0,09
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,03	2	2	1	0,06	0,06	0,03
Простота эксплуатации	0,04	5	3	4	0,2	0,12	0,16
Качество интеллектуального интерфейса	0,05	4	0	4	0,2	0	0,2
Возможность подключения в сеть	0,02	5	0	5	0,1	0	0,1

ЭВМ							
Конкурентно способность продукта	0,03	2	1	3	0,06	0,03	0,09
Уровень проникновения на рынок	0,03	1	5	3	0,03	0,15	0,09
Цена	0,06	3	5	1	0,18	0,3	0,06
Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	3	5	0,28	0,21	0,35
Послепродажное обслуживание	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
Финансирование научной разработки	0,03	2	1	1	0,06	0,03	0,03
Срок выхода на рынок	0,04	2	4	5	0,08	0,16	0,2
Наличие сертификации разработки	0,02	1	3	5	0,02	0,06	0,1
Итого:	1	63	52	67	3,54	2,71	3,53

Согласно оценочной карте можно выделить следующие конкурентные преимущества разработки: цена разработки ниже, повышение надежности и безопасности, простота эксплуатации.

3.3 Технология QuaD

Для упрощения процедуры проведения QuaD проведем в табличной форме (таблица 19).

Таблица 19 – Оценочная карта QuaD

Критерии оценки	Вес	Баллы	Максимально	Относительное	Среднее
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности	0,05	80	100	0,8	4
Удобство в эксплуатации	0,06	75	100	0,75	4,5

Помехоустойчивость	0,05	40	100	0,4	2
Энергоэкономичность	0,09	30	100	0,3	2,7
Надежность	0,11	95	100	0,95	10,45
Уровень шума	0,03	40	100	0,4	1,2
Безопасность	0,11	95	100	0,95	10,45
Потребность в ресурсах памяти	0,03	50	100	0,5	1,5
Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,03	30	100	0,3	0,9
Простота эксплуатации	0,04	75	100	0,75	3
Качество интеллектуального интерфейса	0,05	80	100	0,8	4
Ремонтопригодность	0,02	85	100	0,85	1,7
Экономические критерии оценки эффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,03	60	100	0,6	1,8
Уровень проникновения на рынок	0,03	20	100	0,2	0,6
Цена	0,06	85	100	0,85	5,1
Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	80	100	0,8	5,6
Послепродажное обслуживание	0,05	75	100	0,75	3,75
Финансирование научной разработки	0,03	50	100	0,5	1,5
Срок выхода на рынок	0,04	30	100	0,3	1,2
Наличие сертификации разработки	0,02	10	100	0,1	0,2
Итого:	1				66,15

Средневзвешенное значение позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Средневзвешенное значение получилось равным 66,15, что говорит о том, что перспективность разработки выше среднего.

3.4 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 20.

Таблица 20 – SWOT-анализ

		Сильные стороны					Слабые стороны				
		С1. Экономичность и	С2. Экологичность технологий	С3. Более низкая стоимость	С4. Наличие бюджетного	С5. Квалифицированный персонал	Сл1. Отсутствие прототипа проекта	Сл2. Отсутствие у потребителей квалифицированных кадров	Сл3. Мало инжиниринговых компаний, способной	Сл4. Отсутствие необходимого оборудования	Сл5. Большой срок поставок используемого оборудования
Возможности	В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	В2. Использование существующего программного обеспечения	+	0	-	0	+	-	-	-	-	-
	В3. Появление дополнительного спроса	+	+	0	0	-	-	-	-	-	-

	на новый продукт										
Угрозы	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства	-	-	-	-	-	+	+	0	0	+
	У2. Развитая конкуренция технологий производства	-	-	-	-	-	-	-	+	+	0
	У3. Ограничения на экспорт технологии	-	-	-	-	-	+	+	0	0	+
	У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+

3.5 Планирование научно-исследовательских работ

3.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

В рамках научного исследования составим перечень этапов и работ, который представлен в таблице 21.

Таблица 21 – перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ра б	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Изучение существующих объектов проектирования	Инженер
	4	Календарное планирование работ	Руководитель

			, инженер
Теоретическое и экспериментальное исследование	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер

Продолжение таблицы 21

Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ и ANSI/ISA	Инженер
	11	Составление перечня вход/выходных сигналов	Инженер
	12	Составление схемы информационных потоков	Инженер
	13	Разработка структурной схемы автоматического регулирования	Инженер
	14	Проектирование SCADA-системы	Инженер
Оформление отчета	15	Составление пояснительной записки	Инженер

3.6 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ необходимо перевести из рабочих дней в календарные дни. Для этого необходимо рассчитать коэффициент календарности по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1.48$$

В таблице 22 приведены расчеты длительности отдельных видов работ.

Таблица 22 – временные показатели проведения работ

	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
	t min	tmax	t ож			
Составление и утверждение технического задания	1	2	1,4	1	1,4	2
Подбор и изучение материалов по теме	2	5	3,2	1	3,2	5
Изучение существующих объектов проектирования	2	5	3,2	1	3,2	5
Календарное планирование работ	0,5	1	0,7	2	0,35	1
Проведение теоретических расчетов и обоснований	1	3	1,8	1	1,8	3
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	2	4	2,8	1	2,8	4
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	0,5	1	0,7	1	0,7	1
Оценка эффективности полученных результатов	0,5	1	0,7	2	0,35	1
Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ и ANSI/ISA	1	2	1,4	1	1,4	2
Составление перечня вход/выходных	0,5	1	0,7	1	0,7	1

сигналов						
Составление схемы информационных потоков	0,5	1	0,7	1	0,7	1
Разработка схемы внешних проводок	1	3	1,8	1	1,8	3
Разработка алгоритмов сбора данных	1	3	1,8	1	1,8	3
Разработка алгоритмов автоматического регулирования	0,5	1	0,7	1	0,7	1
Разработка структурной схемы автоматического регулирования	2	4	2,8	1	2,8	4
Проектирование SCADA-системы	2	5	3,2	1	3,2	5
Составление пояснительной записки	1	3	1,8	1	1,8	3

На основе таблицы 16 построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта. В таблице 23 приведен календарный план- график с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 23 план-график

№ работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность выполнения работ											
			Февраль	Март			Апрель			Май			Июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2		3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер												
3	Изучение существующих объектов проектирования	Инженер												

[illegible]

3.7 Бюджет научно-технического исследования

3.7.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В таблице 24 приведены материальные затраты. В расчете материальных затрат учитываются транспортные расходы и расходы на установку оборудования в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 24 – материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы
Контроллер Mitsubishi Electric, MELSEC L	шт.	1	27937,59	34921,9875
Расходомер Kobold DMH-R	шт.	2	29000	66700
Датчики давления Kobold PAD-R	шт.	4	16000	73600
Датчик температуры "WIKA TR100-F"	шт.	3	2280	7866
Уровнемер Сапфир ДУ22	шт.	3	17000	58650
Частотный преобразователь Danfoss VLT AQUA 0,5 кВт	шт.	2	71000	163300
Клапан, регулирующий КМР d250	шт.	3	68000	244800
Прямоходный привод AUMA MATIC Ex 16	шт.	3	180360	676350
Итого:				1326187,988

3.7.2 Расчет затрат на специальное оборудование

В данной статье расхода включаются затраты на приобретение специализированного программного обеспечения для программирования ПЛК фирмы Mitsubishi. В таблице 19 приведен расчет бюджета затрат на приобретение программного обеспечения для проведения научных работ:

Таблица 19 – расчет бюджета затрат на приобретения ПО

Наименование	Количество единиц	Цена единицы оборудования	Общая стоимость
Trace Mode	1	78800	78800
итого:			78800

3.7.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 25.

Таблица 25 – основная заработная плата

Исполнители	Тарифная заработная плата	коэффициент Премияльный	Коэффициент доплат	Районный коэффициент	Месячный должностной оклад работника	Среднедневная заработная плата	Продолжительность работ	Заработная плата основная
Руководитель	23264,86	0,3	0,2	1,3	45366,5	2278,50	4	9113,98
Инженер	7800	0,3	0,5	1,3	18252	916,69	39	35751,00
Итого:								44864,99

3.7.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{допР}} = k_{\text{доп}} \times З_{\text{осн}} = 0,15 \times 9113,98 = 1367,09$$

$$З_{\text{допИ}} = k_{\text{доп}} \times З_{\text{осн}} = 0,15 \times 35751 = 5362,65$$

3.7.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 26.

Таблица 26 - отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата
Руководитель проекта	9113,98	1367,09
Инженер	35751	5362,65
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды, %	30	30
Итого:	13459,49	2018,92

3.7.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (1326187,98 + 31800 + 44864,99 + 6729,74 + 15478,42) \cdot 0,15 \\ = 220809,17 \text{ руб}$$

Где 0,15 - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

3.7.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 27.

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Текущий проект	Аналог 1
1. Материальные затраты	1326187,988	1883017.37
2. Затраты на специальное оборудование	78800	78800

3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	44864,99	44864,99
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6729,74	6729,74
5. Отчисления во внебюджетные фонды	15478,42	15478,42
6. Накладные расходы	220809,17	220809,17
7. Бюджет затрат НТИ	1326487,6	2900000

В ходе формирования бюджета затрат на научно-техническое исследование вышло, что затраты составляют примерно 1326487,597 руб. Основной статьей расходов являются материальные затраты НТИ – 46 % в структуре затрат.

Данный результат не является точным, так как в ходе расчетов не учитывались затраты, которые понесли руководитель и консультант проекта.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{4.6}{0.46} = 10;$$

$$I_{\text{фина1}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{фина1}}^{a1}} = \frac{4.4}{1} = 4.4.$$

Результат расчет интегрального показателя финансовой эффективности вариантов исполнения научного исследования представим в таблице 2

Результат расчета показателя ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования в таблице 28.

Таблица 28 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта научного исследования

Критерий оценки научной разработки	Вес параметра	Варианты исполнения	
		1(текущий проект)	2
1.Повышение роста производительности труда пользователя	0,25	5	5
2.Удобство в эксплуатации	0,15	4	5
3.Надёжность	0,25	4	4
4.Экономичность	0,25	5	4
5.Помехоустойчивость	0,1	5	4
Итого	1	4,6	4,4

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 = 4,6;$$

$$\text{Аналог 2} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 = 4,4;$$

Результат расчета интегрально показателя сравнительной эффективности представим в таблице 29

Таблица 29 – Сравнительная эффективность научной разработки

№п/п	Показатели	Исполнение 1 (текущая разботка)	Исполнение 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,46	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,4
3	Интегральный показатель эффективности	10	4,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,27	

Таким образом, текущая разработка с позиции сравнительной эффективности выгодна за счет экономии ресурсов.

4 Социальная ответственность

В ВКР рассматривается блочная кустовая насосная станция (БКНС), предназначенная для закачки воды в продуктивные пласты в системе поддержания пластового давления нефтяных месторождений. Ролью обслуживающего персонала становится наблюдение за работой оборудования, настройкой и наладкой аппаратуры.

По характеру физической нагрузки согласно ГОСТ 12.1.005–88 [14] работа инженера относится к разряду легких. При этом длительная работа в помещении при плохой вентиляции, повышенной или пониженной температуре и влажности воздуха, плохом освещении неблагоприятно сказывается на здоровье работающего, что неизбежно влечет за собой снижение производительности труда.

Данный раздел выпускной квалификационной работы рассматривает вопросы выявления и анализа вредных и опасных факторов труда, оценки условий труда и разработки мер защиты от них для рабочего персонала комплексом мероприятий технического, организационного, режимного и правового характера, минимизирующих негативные последствия проектируемой деятельности в соответствии с требованиями санитарных норм и правил, техники безопасности и пожарной безопасности.

Рабочее место оператора представляет собой цех где расположена блочно-кустовая насосная станция площадью 20 м², в котором установлен персональный компьютер.

В данном разделе выпускной квалификационной работы дается характеристика рабочей зоны, которой является установка дозирования химреагента, непосредственно куда проектировалась автоматизированная система управления. Проанализированы опасные и вредные факторы.

4.1 Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности

4.1.1 Эргономические требования к рабочему месту

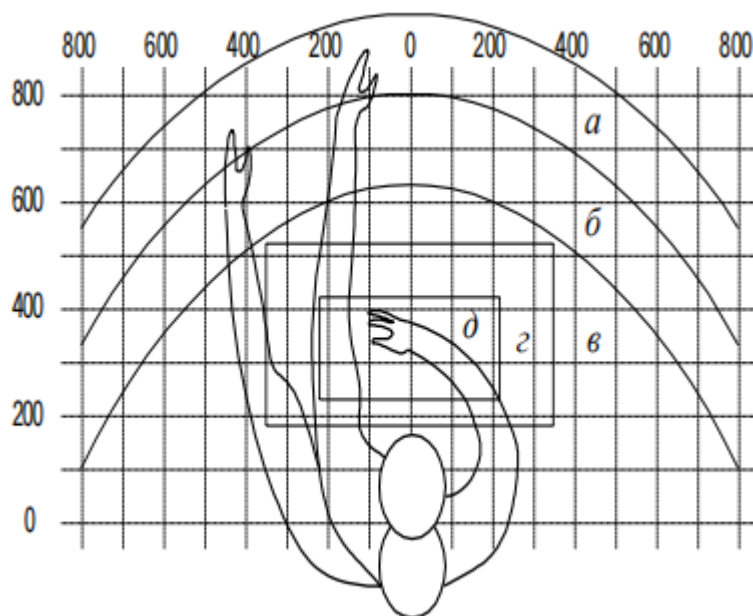
Одним из факторов безопасности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочие места с персональными компьютерами по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, желательно слева. Рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы. При отсутствии регулировки высота стола должна быть в пределах от 680 до 800 мм.

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности.

При 8-часовой рабочей смене и работе на ПК регламентированные перерывы следует устанавливать через 2 часа от начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый.

Эффективными являются нерегламентированные перерывы (микропаузы) длительностью 1-3 минуты. Регламентированные перерывы и микропаузы целесообразно использовать для выполнения комплекса упражнений и гимнастики для глаз, пальцев рук, а также массажа. Комплексы упражнений целесообразно менять через 2-3 недели.

На рисунке 28 представлены эргономические требования к рабочему месту.



- а - зона максимальной досягаемости;
- б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в - зона легкой досягаемости ладони;
- г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Рисунок 28 – эргономические требования

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости согласно [15]:

- дисплей размещается в зоне «а» (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура – в зоне «г/д»;
- «мышь» – в зоне «в» справа;
- документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – «б», а в выдвижных ящиках стола – редко используемая литература.

4.1.2 Окраска и коэффициенты отражения

В соответствии с указаниями по проектированию цветовой отделки помещений производственных зданий рекомендуются следующие цвета окраски помещений:

- потолок – белый или светлый цветной;

- стены - сплошные, светло-голубые;
- пол – темно-серый, темно-красный или коричневый.

При выполнении интерьера, обычно выбирают не более трех основных цветов небольшой насыщенности. Окраска оборудования и приборов, в основном, имеет светлые цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним.

4.2 Производственная безопасность

4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

По природе действия опасные и вредные производственные факторы подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические. Для выбора факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 30.

Таблица 30 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте при выполнении НИР

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74)	Нормативные документы
1	Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными и характеристиками шума);	СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
2	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;
3	Производственные факторы, связанные с отклонениями показателей микроклимата;	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
4	Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения;	СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение
5	Производственные факторы, связанные с требованиями электробезопасности.	ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

4.2.2 Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума)

Шум представляет собой беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности. Он может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает извне.

Сильный шум вызывает трудности в распознавании цветовых сигналов, снижает быстроту восприятия цвета, остроту зрения, зрительную адаптацию, нарушает восприятие визуальной информации, снижает способность быстро и точно выполнять координированные движения, уменьшает на 5-12% производительность труда. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах. Длительное воздействие шума с уровнем звукового давления 90дБ снижает производительность труда на 30-60%. Неблагоприятное действие шума на человека зависит не только от уровня звукового давления, но и от частотного диапазона шума (наиболее важный для слухового восприятия интервал от 45 до 10000 Гц), а также от равномерности воздействия в течение рабочего времени.

По нормам (СП 51.13330.201) при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень звука на рабочем месте не должен превышать 75 дБ [16].

При разработке проектируемой системы добавилось электрооборудование, которое является источником шума, такие как автоматические задвижки, электромагнитные реле. При этом основным источником шума являются насосы. До разработки автоматизированной системы шум на площадке БКНС составлял 80 дБ. Благодаря внедрению новой автоматизированной установки уровень шума снизился до 78 дБ.

Во время работы персонала в блок боксе обслуживающему и производственному персоналу необходимо одевать наушники или беруши.

Снизить уровень шума в помещениях можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63-8000 Гц для отделки стен и потолка помещений. Дополнительный звукопоглощающий эффект создают однотонные занавески из плотной ткани, повешенные в складку на расстоянии 15-20 см от ограждения. Ширина занавески должна быть в 2 раза больше ширины окна.

Наиболее простым и действенным способом облегчения работ, является кратковременные отдыхи в течение рабочего дня при выключенных источниках шума.

4.2.3 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Электрический ток представляет собой скрытый тип опасности, т.к. его трудно определить в токо- и нетоковедущих частях оборудования, которые являются хорошими проводниками электричества. Смертельно опасным для жизни человека считают ток, величина которого превышает 0,05 А, ток менее 0,05 А – безопасен (до 1000 В). С целью предупреждения поражений электрическим током к работе должны допускаться только лица, хорошо изучившие основные правила по технике безопасности.

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Во время монтажа и эксплуатации линий электросети необходимо полностью сделать невозможным возникновения электрического источника возгорания в следствии короткого замыкания и перегрузки проводов,

ограничивать применение проводов с легковоспламеняющейся изоляцией и, за возможности, перейти на негорючую изоляцию.

Линия электросети для питания шкафов автоматики, периферийных устройств и оборудования для обслуживания, ремонта и налаживания шкафов автоматики выполняется как отдельная групповая трехпроводная сеть, путем прокладки фазового, нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. Нулевой защитный проводник используется для заземления (зануление) электроприемников и прокладывается от стойки группового распределительного щита, распределительного пункта к розеткам питания.

Использование нулевого рабочего проводника как нулевого защитного проводника запрещается, а также не допускается подключение этих проводников на щите до одного контактного зажима.

Площадь перерезу нулевого рабочего и нулевого защитного проводника в групповой трехпроводной сети должна быть не меньше площади перерезу фазового проводника. Все проводники должны отвечать номинальным параметрам сети и нагрузки, условиям окружающей среды, условиям деления проводников, температурному режиму и типам аппаратуры защиты, требованиям ПОЭ.

При проектировании автоматизированной системы добавилось большое количество электроприборов, таких как датчики, исполнительные механизмы с электроприводами.

Данное оборудование работает от постоянного тока, с напряжением 24 В, относительная влажность воздуха 50%, средняя температура около 24°C.

Для указанных электроприборов никаких дополнительных средств электрозащиты не требуется, т. к. при низковольтном напряжении 24 В, вероятность поражения током маловероятна. Для гашения дуги исполнительных реле, были подобраны реле со встроенным дугогасительным устройством.

Контроллерное оборудование, исполнительные нагревательные элементы работают от сети переменного напряжения 220 В и частотой 50 Гц. Данное

оборудование подключено через распределительный шкаф. Эти виды оборудования являются потенциальными источниками опасности поражения человека электрическим током. При осмотре, работе, наладке этого оборудования возможен удар током при соприкосновении с токоведущими частями оборудования.

Для обеспечения безопасности в данном случае необходимо установить защитные барьеры или ограждения вблизи от распределительного шкафа. Поставить табличку «Опасно. Высокое напряжение».

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходима изоляция токоведущих частей, установлено защитное отключение, защитное заземление и зануление [21].

4.2.4 Производственные факторы, связанные с отклонениями показателей микроклимата

Микроклимат помещения – это комплекс физических факторов внутренней среды помещения, которые оказывают влияние на здоровье человека [1]. Основные факторы, характеризующие микроклимат помещения, устанавливаются в соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96 [14]. К ним относятся:

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

Согласно вышеуказанному документу [14], работа оператора АСУ относится к категории работ 1а, так как основная часть работы происходит с использованием ПЭВМ. В зависимости от категории тяжести работ определяются значения показателей микроклимата.

Показатели микроклимата разделяются на допустимые значения и оптимальные значения микроклимата. При допустимых значениях работник может ощущать небольшой дискомфорт, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности, при этом ухудшение состояния здоровья

возникать не будет. При оптимальных микроклиматических условиях обеспечивается сохранение нормального функционального и теплового состояния организма, создаются предпосылки для высокого уровня трудоспособности.

При этом, если температура воздуха отличается от нормальной, то время пребывания в таком помещении должно быть ограничено в зависимости от категории тяжести работ.

Влияние на человека неблагоприятных метеорологических условий в течение длительного времени в резкой форме ухудшают его состояние здоровья, снижают продуктивность и приводят к болезням. Повышенная температура воздуха приводит к скорой утомляемости служащего, к перегреву организма или тепловому удару, а пониженная температура – может вызвать охлаждение организма, вызвать простуду или обморожение [22].

Влажность воздуха сильно воздействует на терморегуляцию организма человека. Повышенная влажность и повышенная температура воздуха приводит к перегреванию организма, а при пониженной температуре повышенная влажность увеличивает теплопередачу с поверхности кожи, что приводит к переохлаждению организма. Пониженная влажность способствует пересыханию слизистых оболочек служащего.

В таблице 31 представлены оптимальные и допустимые показатели микроклимата.

Таблица 31 – Оптимальные и допустимые значения показателей микроклимата (СанПин 2.2.4.548-96 [14])

Тип величины	Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Оптимальный	Холодный	21-23	20-24	40-60	0,1
	Тёплый	22-24	21-25		
Допустимый	Холодный	19-24	18-25	15-75	0,1-0,2
	Тёплый	20-28	19-29		0,1-0,3

В целях поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление.

4.2.5 Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения

Среди технических требований к рабочему месту инженера особенно важным является требование к освещенности, которая значительно влияет на эффективность трудового процесса.

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет выполнение работы, вызывает утомление, увеличивает риск производственного травматизма. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме, ослаблением его реактивности, способствует развитию близорукости. Согласно действующим Санитарным правилам [15], искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 — 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более

300 лк. Прямую блескость от источников освещения следует ограничить. Яркость светящихся поверхностей (окна, светильники), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м².

Естественное освещение обеспечивается через оконные проемы с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 1,2% в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5% на остальной территории. Световой поток из оконного проема должен падать на рабочее место оператора с левой стороны. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК, продублируем в таблице 32.

Таблица 32 – Требования к освещению на рабочих местах

Освещенность на рабочем столе	300-500 лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м ²
Прямая блескость источника света	200 кд/м ²
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации:	не более 5%

4.2.6 Производственные факторы, связанные с требованиями электробезопасности

Требования электробезопасности данного объекта направлены на создание условий эксплуатации оборудования, при которых исключаются образование электрической цепи через тело человека. Под действием тока сокращаются мышцы тела. Если человек взялся за находящуюся под постоянным напряжением часть оборудования, он, возможно, не сможет оторваться от нее без посторонней помощи.

Более того, его, возможно, будет притягивать к опасному месту. Под действием переменного тока мышцы периодически сокращаются с частотой тока. Больше всего от действия электрического тока страдает центральная нервная система. Ее повреждение ведет к нарушению дыхания и сердечной деятельности. Смерть обычно наступает вследствие остановки сердца, или прекращения дыхания, или того и другого вместе.

Объекты энергосбережения должны обслуживаться энерготехническим персоналом, имеющим соответствующую группу допуска. Напряжение на электрооборудование должно подаваться и сниматься дежурным электроперсоналом по указанию ответственного за эксплуатацию этого

оборудования или старшего по смене. При возгорании электрооборудования, напряжение с него должно быть снято.

Важным фактором безопасности является заземление оборудования путем присоединения к контуру заземления [22]. Заземляющее устройство является одним из средств защиты персонала в помещении от возникновения искры, от напряжения, возникающего на металлических частях оборудования, не находящихся под напряжением, но могущих оказаться под ним в результате повреждения изоляции.

В качестве организационных мероприятий оператору во время работы запрещается [22]:

- прикасаться к задней панели системного блока при включенном питании;
- переключать разъемы интерфейсных кабелей периферийных устройств при включенном питании;
- производить отключение питания во время выполнения активной задачи;
- снимать защитный фильтр с экрана монитора;
- допускать попадание влаги на поверхности устройств;
- производить самостоятельно вскрытие и ремонт оборудования.

4.3 Экологическая безопасность

При нормальной работе технологического оборудования возможны постоянные небольшие утечки загрязняющих веществ в атмосферу. Выброс вредных веществ происходит:

- на открытых технологических площадках через запорно-регулирующую арматуру;
- от оборудования, расположенного в блоках, через воздухопроводы и дефлекторы;
- при сжигании газа на факелах через трубы;
- при заполнении емкостей через воздушников и свечи рассеивания;

- при заполнении резервуаров через дыхательные клапаны;
- при сжигании газа на факеле.

При работе технологического оборудования возможны периодические непродолжительные по времени (залповые) выбросы, превышающие по мощности постоянные. Это технически неизбежные выбросы, обусловленные технологическим регламентом производства.

На основе статистических данных об аварийных ситуациях на объектах транспортировки нефти целесообразно рассматривать аварию в виде отказа энергосистемы или порыва трубопроводов.

Максимальный выброс загрязняющих веществ в атмосферу возможен на площадке при отключении электроэнергии. При этом вся нефть направляется в резервуары, и отсепарированная газовая фракция сжигается на факеле.

По охране окружающей среды проведены мероприятия:

- максимальная герметизация производственного процесса;
- сокращено прямоточное водоснабжение за счет использования аппаратов воздушного охлаждения для продуктов стабилизации нефти;
- направление не сконденсировавшихся газов стабилизации в систему газосбора или в дренажные емкости;
- осадки, после зачистки резервуаров и грунт с нефтепродуктами вывозятся в места, согласованные с санитарной инспекцией, для нейтрализации и дальнейшего закапывания;
- замазученная ветошь, тряпки собираются и сжигаются за территорией установки, в местах, согласованных с пожарным надзором.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации – это обстоятельства, возникающие в результате аварий, катастроф, стихийных бедствий, диверсий или иных факторов, при которых наблюдается резкое отклонение протекающих явлений и процессов от нормальных, что оказывает отрицательное воздействие на жизнеобеспечение, экономику, социальную сферу и природную среду.

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (землетрясение, наводнение, пожары, химическое либо радиоактивное заражение и т.п.) должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- рассредоточение и эвакуация;
- укрытие людей в защитных сооружениях;
- обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- организация медицинской помощи пострадавшим.

Заключение

Выполнена модернизация автоматизированной системы управления технологическими процессами блочной кустовой насосной станции путем замены проводной телекоммуникации беспроводной сенсорной системой.

Выполнена замена КИПиА традиционного исполнения на КИПиА автономного типа.

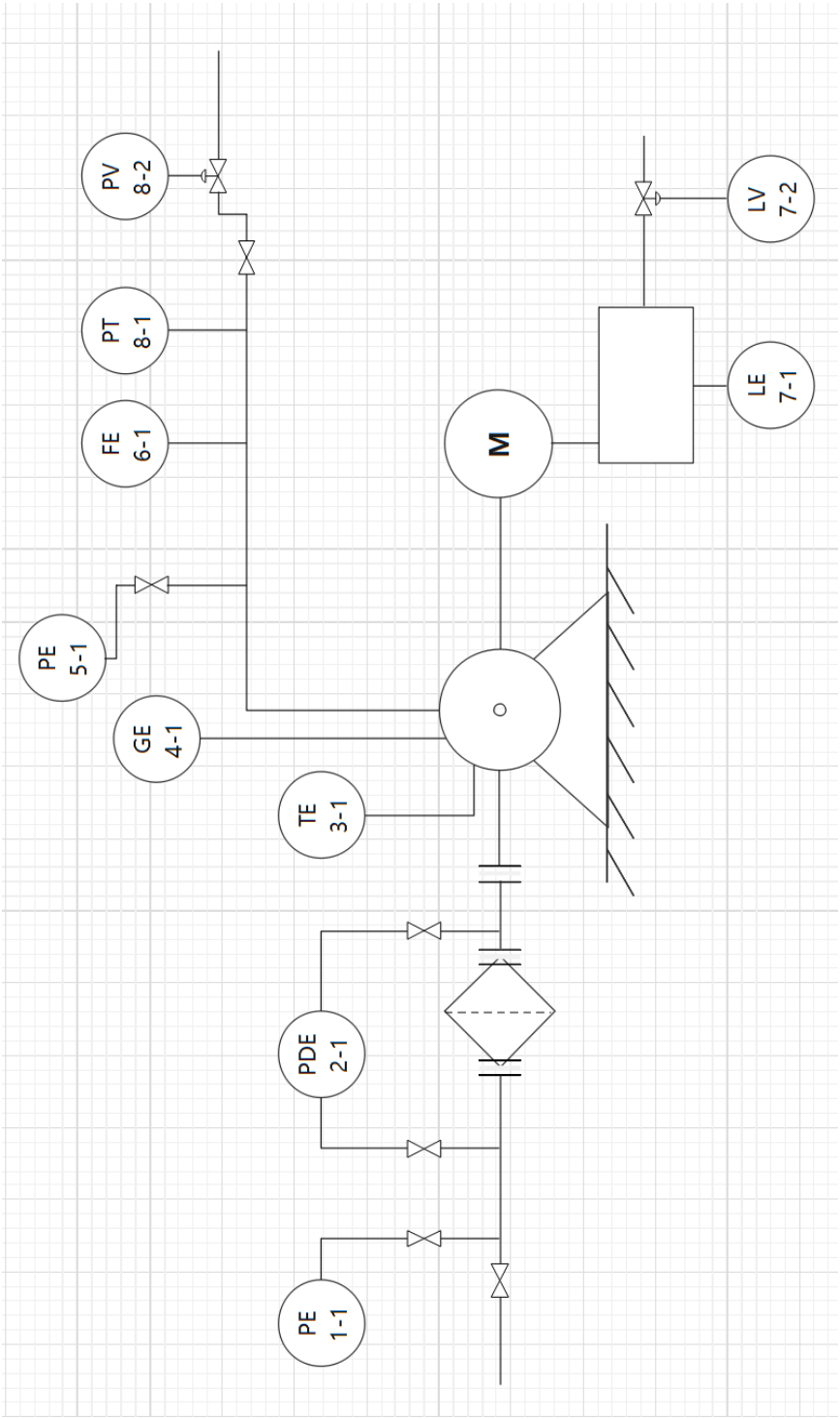
Выполнены расчеты показателей надежности модернизированной АСДУ БКНС, разработаны алгоритмы управления автоматизированной системой, выполнен анализ САР расхода воды для закачки в пласт нефти, разработана экранная форма диспетчерского управления БКНС.

Выполнена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности. Разработан раздел социальной ответственности.

Список используемой литературы

1. Громаков Е. И., Проектирование автоматизированных систем. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. — Томск, 2009.
2. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Том 1. Линейные системы. - М.: Физматлит, 2003.
3. Справочник технического переводчика: ПИД-регулятор. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://intent.gigatran.com/article/?id=76906>, свободный.
4. Mitsubishi Electric: Mitsubishi Electric MELSEC L. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://w5.mitsubishi-electric.com/web/ua/ru/iadt/ia/FAPA/PLC/Pages/MELSEC-L.aspx>, свободный.
5. Расходомер электромагнитный: принцип работы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://principraboty.ru/princip-raboty-rashodomera-elektromagnitnogo/?ysclid=l4dm6idbg7416122736>, свободный.
6. Wikipedia: Беспроводная сенсорная сеть. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспроводная_сенсорная_сеть, свободный.
7. Wikipedia: WirelessHART. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/WirelessHART>, свободный.
8. Allbest: Офисные и беспроводные сети. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://otherreferats.allbest.ru/programming/00115468_0.html?, свободный.
9. ЭЛЕМЕР: ЭЛЕМЕР-100. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elemer.ru/catalog/datchiki-davleniya-i-manometry/datchiki-davleniya/elemer-100/?>, свободный.
10. Лимако: Уровнемер УЛМ-11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.limaco.ru/ru/production/101/162/>, свободный.
11. Piezus: AMZ 5050. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://piezus.ru/products/datchiki-davlenija/amz-5050.html?>, свободный.

12. Emerson: Преобразователь сигнала HART в беспроводной Smart Wireless THUM™. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.vsp-co.org/assets/thum_brochure.pdf?ysclid=l4dmuosi7y855318393, свободный.
13. Emerson: Беспроводной шлюз Emerson 1420. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.com/ru-ru/catalog/emerson-wireless-1420-gateway-ru-ru>, свободный.
14. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
15. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
16. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
17. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
18. Разработка графических решений проектов СДКУ с учетом требований промышленной эргономики. Альбом типовых экранных форм СДКУ. ОАО «АК Транснефть». – 197 с.
19. Комягин А. Ф., Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП газонефтепроводов. Ленинград, 1983. – 376 с.
20. Попович Н. Г., Ковальчук А. В., Красовский Е. П., Автоматизация производственных процессов и установок. – К.: Вицашк. Головное издво, 1986. – 311с.
21. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
22. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение.
23. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.



Приложение Б

