

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

<b>Тема работы</b>
Автоматизированная система линейной части магистрального газопровода
УДК <u>004.896:622.691.4.05</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Куцюк Тарас Викторович		

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	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### 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
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать 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
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда

Код компетенции	Наименование компетенции
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
<b>Профессиональные компетенции</b>	
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

Код компетенции	Наименование компетенции
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

Код компетенции	Наименование компетенции
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

Код компетенции	Наименование компетенции
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	60
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
	Социальная ответственность	20

**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		

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
Громаков Е.И.  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

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

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
8Т8А	Куцюк Тарасу Викторовичу

Тема работы:

Автоматизированная система линейной части магистрального газопровода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования: автоматизированная система линейной части магистрального газопровода. Цель работы: модернизация автоматизированной системы управления крановым узлом линейной части магистрального газопровода. Режим работы: постоянный. Сырье: природный газ.
---------------------------------	---



<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<p>Описание технологического процесса;  Описание принципа взаимодействия интеллектуальных КИПиА  Разработка функциональной схемы АС;  Обзор выбора КИПиА для управления линейным участком;  Расчет погрешности метрологического канала АС;  Расчет показателей надежности АС;  Разработка алгоритмов управления АС;  Исследование САР;  Разработка экранных форм управления магистральным газопроводом.</p>
<b>Перечень графического материала</b>	<p>Типовая структура систем линейной телемеханики;  Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.408-2013;  Структурная схема метрологического канала;  Структурная схема надежности АС;  Блок-схема алгоритма управления;  Структурная схема САР;  Экранные формы.</p>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына 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
8Т8А	Куцюк Тарас Викторович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т8А	Куцюк Тарасу Викторовичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	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	Оклад руководителя - 37700 руб. Оклад инженера - 19200 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы – 16%. Районный коэффициент – 1,3.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %.

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоемкости работ для НИ, разработка графика проведения НИ, составление бюджета НИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя ресурсной и финансовой эффективности для всех видов исполнения НИ.

**Перечень графического материала:**

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:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т8А	Куцюк Тарас Викторович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т8А	Куцюк Тарасу Викторовичу

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

Тема ВКР:

Автоматизированная система линейной части магистрального газопровода

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

**Введение**

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

*Объект исследования:* линейный участок магистрального газопровода.  
*Область применения:* автоматизация нефтегазовой отрасли, магистральный транспорт газа  
*Рабочая зона:* полевые условия  
*Размеры крановой площадки:* 10\*10м.  
*Количество и наименование оборудования рабочей зоны:* кран с пневмогидроприводом и сопутствующие беспроводные КИПиА.  
*Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:* контроль и управление технологическим процессом и оборудованием линейной части магистрального газопроводов дистанционно или при обходе согласно графику предварительно-плановых работ.

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

**1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации**

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

1. СТО Газпром 2-3.5-454-2010;
2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.03.2022);
3. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08- 624-03.

<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p><b>Опасные факторы:</b> Запыленность и загазованность воздушной среды природным газом, газовым конденсатом, парами метанола, одоранта, сварочными аэрозолями и др.; Электрический ток.</p> <p><b>Вредные факторы:</b> Производственный шум; Повышенный уровень общей вибрации; Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе.</p> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> изоляция газопроводов, катодная и протекторная защита, сертифицированная специальная одежда специальная обувь и другие СИЗ.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b></p>	<p><b>Воздействие на литосферу:</b> бытовые отходы. <b>Воздействие на атмосферу:</b> стравливание газа.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b></p>	<p><b>Возможные ЧС:</b> утечка газа, пожар, взрыв, разгерметизация газопровода. <b>Наиболее типичная ЧС:</b> утечка газа.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Куцюк Тарас Викторович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 104 страницах, содержит 20 рисунков, 26 таблиц, 31 источника литературы и 4 приложения.

Ключевые слова: линейный участок магистрального газопровода, автономные интеллектуальные контрольно-измерительные приборы, алгоритм, беспроводная сеть управления, система линейной телемеханики.

Объектом исследования являются линейные участки магистрального газопровода, в частности крановые площадки.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация автоматизированной системы управления крановыми узлами линейной части магистрального газопровода путем применения сенсорной сети автономных КИПиА.

В данной работе разрабатывается и исследуется технологическое решение использования беспроводных сетей для автоматизированного управления газотранспортной системой. Проведен анализ перспективных технологических направлений в области автоматизации технологических процессов транспортировки газа, выполнен анализ автономных интеллектуальных датчиков различных мировых компаний, а также проведена сравнительная характеристика их технологических параметров с уже установленными на магистральном газопроводе контрольно-измерительными приборами. Выполнены расчеты погрешности метрологического канала измерения и показателей надежности системы. Также в работе представлены разработанный алгоритм и экранные формы управления крановой площадкой магистрального газопровода. Разработана функциональная схема автоматизации согласно ГОСТ 21.208-2013.

Для выполнения работы использовались программные продукты Trace Mode IDE6, Компас-3D, Matlab Simulink 2020b.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

## Оглавление

Обозначения и сокращения .....	18
Введение .....	19
1 Описание технологического процесса.....	21
2 Структура, состав и функциональное взаимодействие элементов систем линейной телемеханики.....	23
3 Разработка функциональной схемы автоматизации .....	31
4 Обзор выбора интеллектуальных КИПиА для управления линейным участком МГ.....	32
4.1 Выбор датчиков давления.....	33
4.2 Выбор датчиков температуры.....	36
4.3 Выбор шлюза связи.....	38
4.4 Сравнительная характеристика установленных на МГ датчиков с беспроводными аналогами .....	39
5 Расчет погрешности метрологического канала АС .....	43
6 Расчет показателей надёжности модернизируемой системы .....	46
7 Разработка алгоритма управления АС.....	51
8 Исследование САР линейного участка магистрального газопровода .....	53
9 Разработка экранных форм управления магистральным газопроводом.....	58
10 Анализ полученных результатов .....	59
11 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	61
11.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	61
11.2 Анализ конкурентных технических решений .....	61
11.3 SWOT-анализ .....	63
11.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	65
11.4.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	65
11.4.2 Определение трудоёмкости выполнения работ .....	66
11.4.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	69
11.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	70
11.5.1 Расчет затрат на специальное оборудование НТИ.....	70

11.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	71
11.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	72
11.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	73
11.5.5 Накладные расходы .....	74
11.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	74
11.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	75
Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» .....	78
12 Социальная ответственность .....	80
12.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	81
12.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны .....	81
12.3 Производственная безопасность .....	82
12.3.1 Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны .....	84
12.3.2 Электрический ток.....	85
12.3.3 Повышенный уровень и другими неблагоприятными характеристиками шума .....	86
12.3.4 Повышенный уровень общей вибрации .....	87
12.3.5 Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе, рабочей зоны .....	88
12.4 Экологическая безопасность .....	89
12.4.1 Защита атмосферы.....	89
12.4.2 Защита литосферы .....	90
12.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	91
Выводы по разделу «Социальная ответственность» .....	92
Заключение.....	94
Список используемой литературы .....	96



Приложение А (обязательное) Типовая структура систем линейной телемеханики.....	100
Приложение Б (обязательное) Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013 .....	101
Приложение В (обязательное) Алгоритм управления крановой площадкой ...	102
Приложение Г (обязательное) Экранная форма управления МГ .....	104

## Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие сокращения с соответствующими обозначениями:

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ЛПУМГ – Линейное производственное управление магистральным газопроводом;

АСДУ – автоматизированная система диспетчерского управления;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

МГ – магистральный газопровод;

КП – контролируемый пункт;

СКП – спутниковый контролируемый пункт;

СЛТМ – система линейной телемеханики;

ПО – программное обеспечение;

САР – система автоматического регулирования;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПИД – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор;

ЗК – закладная конструкция;

ИК – измерительный канал;

ЗИП – запасное изделие и принадлежность;

САУ – система автоматического управления.

## Введение

«Газпром трансгаз Томск» – дочерняя компания ПАО «Газпром», расположена в Томске. Протяжённость магистральных газопроводов компании составляет более 11500 километров, они проходят по территориям Тюменской, Новосибирской, Кемеровской, Томской, Омской, Сахалинской, Амурской областей, Республике САХА (Якутия), а также Алтайского, Хабаровского и Приморского края [1].

В настоящее время контрольно-измерительные приборы (КИП) широко используются для измерения параметров технологических процессов на опасных производственных объектах «Газпром». Измерения и электропитание происходят кабельным способом. Этот способ подразумевает непосредственную прокладку от датчика до контроллера, включая материалы такие, как трубы, эстакады, кабельные вводы, выводы и так далее. Все эти факторы увеличивают стоимость капитальных затрат на строительство объектов, а также увеличивает затраты на содержание системы.

Поэтому для наращивания объемов производства, а также сокращения себестоимости во времена снижения цен на газ и нефть, крупные компании вынуждены всеми силами повышать эффективность работы. В наше время все больше находит место развитие беспроводных сенсорных сетей. Построение этих сетей в нефтегазовых промышленностях позволяет повысить эффективность процесса транспортировки газа.

Дистанционная диагностика позволяет уменьшить количество ненужных выездов к удаленному оборудованию. При этом 35% выездов выполняются для проверки оборудования, 28% обусловлены проблемами, которых на самом деле нет, 20% выполняются для перекалибровки, 6% – для коррекции нулевой точки, 6% выездов обусловлены засорением трубопроводов и 4% – поломкой измерительных приборов [2].

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация автоматизированной системы управления крановым узлом линейной части

магистрального газопровода путем применения сенсорной сети автономных КИПиА.

Целью модернизации АСДУ газотранспортной системы является снижение потерь газа, уменьшение себестоимости самого процесса транспорта, уменьшение количества обслуживающего персонала.

Задачами выпускной квалификационной работы являются: анализ интеллектуальных КИПиА различных производителей для создания беспроводной сети управления магистральных газопроводом, а именно управления крановой площадкой линейного участка, проведение расчетов погрешности метрологического канала АС и показателей надежности, и разработка экранных форм управления магистрального газопровода, а также блок-схем алгоритма управления крановой площадкой.

## **1 Описание технологического процесса**

Линейный крановый узел предназначен для отключения участка газопровода, освобождения его от газа, заполнения газом и ввода в эксплуатацию после выполнения ремонтных работ. Он состоит из линейного крана, обводного газопровода с двумя последовательно установленными кранами, выпускного (свечного) газопровода с краном.

Байпасная линия кранового узла обычно выполняется из газопровода диаметром (50-150) мм с тремя кранами.

На линейной части магистрального газопровода запорная арматура должна быть оборудована системами дистанционного и местного управления, резервирования импульсного газа, техническими манометрами для измерения давления газа до и после арматуры, трубопроводной обвязкой. При отсутствии системы дистанционного управления линейную запорную арматуру оснащают автоматом аварийного закрытия.

Отбор импульсного газа в резервную систему должен быть предусмотрен в ресивер с обратным клапаном на входе и внешними фильтрами-осушителями как до, так и после крана. Минимальная высота прокладки импульсных трубопроводов в местах прохода персонала рекомендуется не менее 2,2 м. Объем газа в резервуаре должен обеспечивать двухразовое переключение запорной арматуры.

Территория крановых площадок должны быть ограждены от поверхностных вод, покрыты неткаными материалами (при необходимости), засыпаны твердым сыпучим материалом (гравий, щебень и т.п.). На расстоянии 5 метров от ограждения территория вокруг крановых площадок должна быть очищена от растительности. Надземная часть ЛПП должна быть огорожена [4].

На рисунке 1 представлена схема линейного кранового узла.

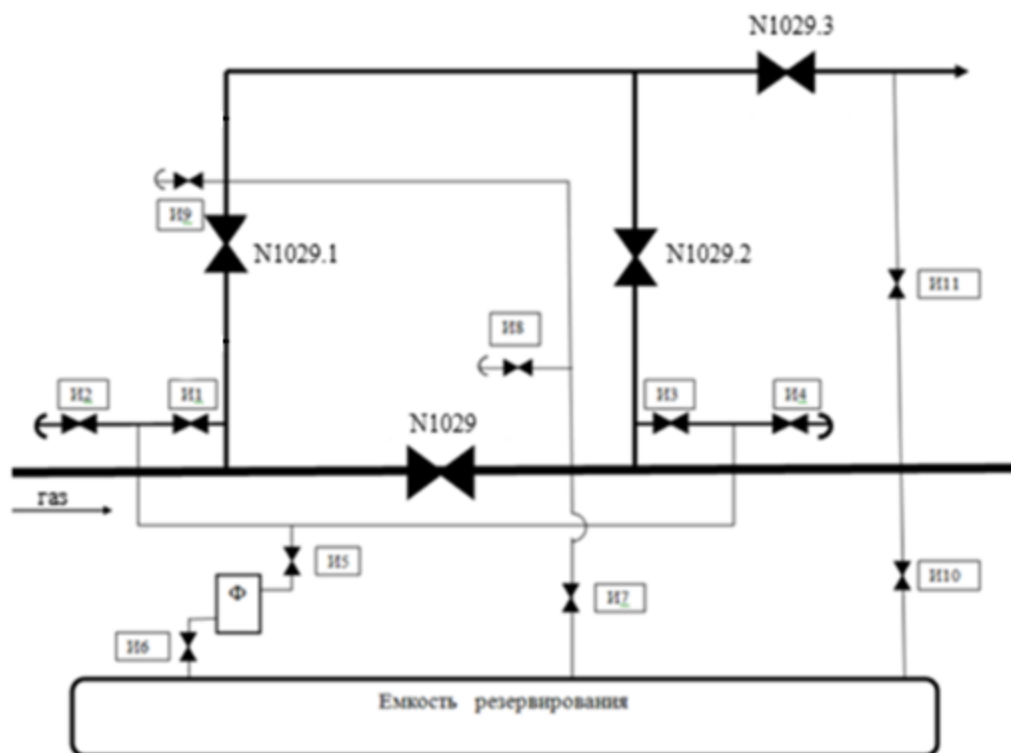


Рисунок 1 – Схема кранового узла

Таблица 1– Нумерация технологической арматуры на линейной части магистральных трубопроводов

Номер	Наименование крана	Место установки
Однониточный газопровод		
1029	Линейный (охранный)	Цифры соответствуют километру расположения его на газопроводе
1029.1	Обводной	Первый по ходу газ в трехкрановой обвязке линейного крана
1029.2	Обводной	Второй по ходу газ в трехкрановой обвязке линейного крана
1029.3	Свечной	Общая свеча в трехкрановой обвязке
1029.7	Отводной	Отвод от газопровода

В штатном режиме работы магистрального газопровода, линейный кран «Nкилометраж крана» находится в открытом положении, а обводные и свечные краны в закрытом. В случае возникновения аварии на линейном газопроводе, кран переводится в положение закрыто. Для стравливания газа с аварийного участка предусмотрена байпасная линия со свечным краном.

Также через байпас разрешается транспортировка газа в случае неисправности линейного крана, но не более чем 3-х дней с момента аварии [3].

## **2 Структура, состав и функциональное взаимодействие элементов систем линейной телемеханики**

Автоматическая система диспетчерского управления (АСДУ) в основном представляет собой аппаратно-программный комплекс, осуществляющий обмен информацией с устройствами ТМ (телемеханики), обработку, архивирование, а также выдачу информации в удобном для пользователя виде. Система позволяет операторам удалённый просмотр данных, предоставляемых SCADA, а также телеуправление и телерегулирование в ней при достаточном уровне доступа и безопасности системы в целом.

Структура систем линейной телемеханики (СЛТМ) должна строиться как иерархическая и включать в себя верхний и нижний уровни управления. Типовая структура СЛТМ указана в Приложении А [3].

Верхний уровень – уровень, на котором осуществляется дистанционный контроль и управление технологическим процессом транспортировки газа, организация человеко-машинного интерфейса и накопление информации о ходе технологического процесса и действиях оперативного персонала.

Верхний уровень СЛТМ состоит из: пункта управления (ПУ ТМ); концентратора данных (КД)/ концентратора информации (КИ).

ПУ ТМ предназначены для визуализации и оперативного анализа диспетчером информации о параметрах и состоянии технологического оборудования и технологического процесса, подготовки решений и передачи управляющих команд на КП ТМ.

КД/КИ предназначен для сбора данных от КП ТМ, оперативного хранения данных, формирования пакетов информации и передачи их на уровни ПУ ТМ, АСУ ТП КС/ЛПУ и трансляции управляющих команд

Нижний уровень – уровень, на котором выполняется сбор, первичная обработка и передача информации по каналу связи на верхний уровень, а также формирование управляющего воздействия на исполнительные механизмы по командам от ПУ ТМ (ППУ ТМ, сервисного устройства).

Нижний уровень СЛТМ состоит из базовых контролируемых пунктов (КП ТМ) и спутниковых КП ТМ (СКП).

В состав КП ТМ должны входить: контроллер; модули и блоки; выходные устройства согласования с объектом (УСО), в том числе обеспечивающие управление исполнительными механизмами; оконечное устройство для подключения к каналу передачи данных; резервный источник питания; аппаратный шкаф (шкафы) для размещения составных частей КП ТМ.

СКП предназначен для телемеханизации объектов с передачей данных через КП ТМ. Связь и питание СКП может обеспечиваться по физическим цепям (кабелю) от КП ТМ. Связь также может быть обеспечена по радиоканалу. Структура каналов связи и физических цепей, соединяющих КП ТМ и СКП, может быть цепочечной, древовидной или радиальной. Целесообразность применения СКП в каждом конкретном случае определяется на стадии проектирования путем рассмотрения топографического размещения оборудования СЛТМ, его количества и на этом основании сопоставления технико-экономических показателей различных вариантов телемеханизации [3].

Если СКП находится в труднодоступном для прокладки кабеля месте (водные переходы, скалистая местность), то целесообразно использовать беспроводные сенсорные сети.

Прогресс в области беспроводных датчиков и основанные на них системы мониторинга и сбора данных стали реальностью благодаря развитию новых технологий передачи информации и уменьшению интегральных микросхем [5, 6].

Основными компонентами автономного сенсора являются микроконтроллер, приемопередатчик, внешняя память, источник питания, датчик и антенна.

Контроллер выполняет задачи, обрабатывает данные и управляет функциональностью других компонентов в узле датчика. Из-за низкой цены, гибкости при соединении с другими приборами, легкости программирования, и



потребления низкой мощности наиболее распространенным контроллером является микроконтроллер [7].

Производители автономных датчиков используют в сенсорных узлах нелицензируемые частоты для передачи данных. Возможные варианты беспроводной передачи могут быть медиа радиочастоты (РЧ), оптические (лазерные) и инфракрасные приемопередатчики [8].

Хотя лазеры при передаче данных требуют небольших затрат энергии, однако, при их использовании необходима прямая видимость для связи, и они чувствительны к погодным условиям.

Инфракрасные приемопередатчики, как и лазеры, не нуждаются в антенне, но они ограничены в мощности передачи.

Радиочастотная связь является наиболее релевантной и подходит для большинства приложений WSN. WSNs, как правило, используют лицензии – свободные полосы частот: 173, 433, 868 и 915 МГц и 2,4 ГГц. Современное поколение трансиверов имеют встроенные системы контроля состояния, которые выполняют эти операции автоматически.

Большинство трансиверов, работающих в режиме ожидания, имеют энергопотребление, почти равное энергии, потребляемой в режиме приема. Таким образом, для экономии энергопотребления рекомендуют полностью выключить трансивер, а не оставлять его в режиме ожидания.

Однако при переключении из спящего режима в режим передачи для передачи пакета потребляется значительное количество энергии. Поэтому при выборе режима ожидания необходимо обеспечивать баланс энергопотребления датчика [9].

С энергетической точки зрения, наиболее актуальны памяти в виде памяти микроконтроллера и флэш-памяти. Флэш-памяти используются из-за их низкой стоимости и большой емкости хранения. Требования к памяти очень сильно зависят от приложения. В сенсорных устройствах используется память потребителя для хранения данных по применению сенсора и память программы, используемая для программирования прибора.

Поскольку узел беспроводного датчика часто помещается в труднодоступное место, регулярная замена батареи может быть дорогостоящей и неудобной. Поэтому важным является, чтобы замена энергии была бы доступной.

Датчик потребляет в основном энергию для считывания, связывания и передачи данных. Больше энергии требуется для передачи данных. На передачу 1 Кбайта информации на расстояние 100 метров затраты энергии примерно такие, как на выполнение 3 миллионов инструкций процессора. Энергия хранится или в аккумуляторах, или в конденсаторах. Находят применение как аккумуляторы перезаряжаемые, так и не перезаряжаемые. Они также классифицируются в соответствии с электрохимическим материалом электродов, таких как никель-кадмиевые, никель-цинковые, никель-металл-гидридные и литий-ионные.

В качестве датчиков используются беспроводные сенсорные узлы для сбора данных об окружающей среде. Датчики измеряют физические данные контролируемого параметра и имеют специфические характеристики: такие как точность, чувствительность и др. С помощью интеллектуальных сенсоров измеряется непрерывный аналоговый сигнал, который далее оцифровывается с помощью аналого-цифрового преобразователя и отправляется в микроконтроллер для дальнейшей обработки. Некоторые датчики содержат необходимую электронику для того, чтобы преобразовать исходные сигналы в сигналы, которые можно восстановить через цифровое соединение.

Большинство узлов датчика небольшие в размере, и потребляют мало энергии. Производители сенсоров стараются выполнять конструкции высоких объемных плотностей. Датчики автономны и приспособлены к работе в окружающей среде. Поскольку узлы беспроводных датчиков обычно являются очень маленькими электронными устройствами, они могут быть оснащены ограниченным по энергии источником питания (менее 0,5-2 ампер-часа и 1,2-3,7 вольта) [10].

При подборе беспроводных датчиков стоит учитывать частоту опроса, так как это влияет на продолжительности жизни аккумулятора. В таблице 2 можно проследить уменьшение времени жизни с увеличением частоты опроса датчика [11].

Таблица 2 – Зависимость службы жизни батареи от частоты опроса

Частота опроса (секунд)	Оценка срока службы батареи (лет)
60	10
30	7,8
10	6,0
5	5,1
1	3,3

При работе беспроводных устройств имеется пять состояний их физического уровня:

- выключено. Единственным потребляемым током является ток утечки в схеме, но выход из этого состояния может занять достаточно длительное время (несколько мс);

- спящий/дежурный режим. В этом режиме устройство может потреблять всего 175 мкВт и сенсор способен быстро перейти в активный режим.

- ожидание. Устройство ожидает появление пакета, поэтому большинство узлов радиоприемника должно быть включено. В настоящее время устройства WLAN и Bluetooth потребляют в этом режиме 110 и 46 мВт, соответственно;

- активный Rx. Режим подобен состоянию ожидания, но включение дополнительных блоков системы может повлиять на потребление мощности устройств WLAN и Bluetooth до 140 и 52 мВт, соответственно;

- активный Tx. В состоянии передачи включается усилитель РЧ-мощности, энергопотребление которого доминирует в системе [12].

Эти физические состояния используются в различных сочетаниях в следующих режимах беспроводных протоколов:

- поиск сети;
- соединено, но незанято (холостой ход);

- поток трафика данных;
- поток с максимальной пропускной способностью.

Для иллюстрации режимов работы протоколов на рисунке 2 показано количество времени, которое занимают различные состояния системы в режиме поиска сети, а на рисунке 3 – в режиме потока трафика. Отметим, что при поиске сети устройство почти все время находится в дежурном режиме.

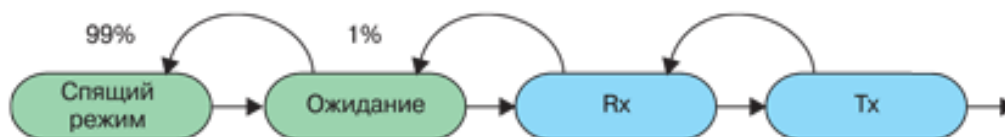


Рисунок 2 – Беспроводной режим потребления мощности: поиск сети

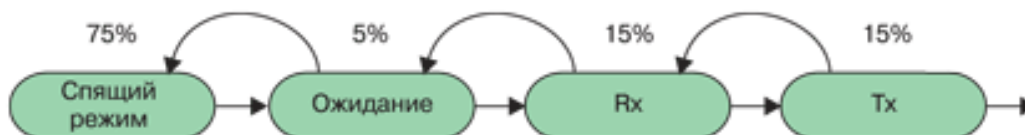


Рисунок 3 – Беспроводной режим потребления мощности: режим потока трафика

Более того, устройство продолжает основную часть времени находиться в дежурном режиме и во время передачи и приема трафика. Требуемая в этом случае скорость передачи данных ниже, чем радиоемкость, и устройство может находиться в этом состоянии непрерывно в течение нескольких часов.

В режиме максимальной пропускной способности беспроводное устройство старается передать необходимый объем данных как можно быстрее (например, при передаче файлов). Устройства находятся в этом режиме весьма короткое время. Чем выше скорость передачи, тем быстрее устройство возвращается в режим холостого хода.

Аналогичные режимы работы и состояния для зимнего периода работы. Однако существует проблема на линейных участках газопровода, что в зимнее время разряд аккумуляторов происходит быстрее, так как снижается скорость химических процессов в батарейках. Поэтому на стадии проектирования важно

выбрать такие решения беспроводных датчиков, которые смогут осуществлять бесперебойную работу в климатических зонах по группе УХЛЗ (по ГОСТ 15150) с условиями эксплуатации СЗ (по ГОСТ Р МЭК 60870-2-2-2001) [4]:

- температура окружающей среды - от минус 40 °С до плюс 70 °С;
- максимальная скорость изменения температуры – 1 °С/мин;
- верхний предел относительной влажности воздуха - 100% с

возможностью конденсации влаги и образования инея;

- атмосферное давление - от 70 кПа до 106 кПа.

Выбирая измерительное оборудование для уличного применения в холодных регионах также нужно учитывать ряд факторов. Один из них – использование уплотнительных колец. Температура ниже минус 20 °С приводит к разрушению уплотнительных материалов между отверстием давления и мембраной. А утечка сделает датчик бесполезным. Поэтому в районах с сильными морозами нельзя использовать датчики давления с уплотнительными кольцами. Правильный выбор – компактный датчик давления с литыми портом давления и измерительной ячейкой.

На функциональность датчика также влияет обледенение. Например, при добыче природного газа в арктических регионах в газопроводах может присутствовать вода. Когда она замерзает, давление, действующее на датчик, может возрасти до такой степени, на какую он не рассчитан. Как следствие – выход из строя беспроводного датчика. Если существует риск обледенения датчика, необходимо следить за соответствующим избыточным давлением.

Следует учитывать и устойчивость к конденсации: если в корпус датчика попадет влажный воздух, при низких температурах образуется конденсат, который может повредить электронику и разрушить датчик.

Резисторы чувствительны к температуре: с ее понижением чувствительность датчиков уменьшается, и они становятся менее точны. Вот почему производители датчиков всегда указывают поведение своих изделий в разных температурных диапазонах. Для максимально линейной работы в

настоящее время датчики имеют электрокомпенсацию в относительно широком диапазоне температур (температурная компенсация). То есть температурные ошибки рассчитываются автоматически. Однако полностью устранить температурные эффекты невозможно, поэтому в технических данных обычно указывается погрешность для разных температурных диапазонов [13].

При проектном выборе автономных сенсоров также необходимо учитывать особенности рельефа (особенно если автоматизация охватывает удаленные друг от друга НГО), так как радиусы устойчивой работы устройств связи и оборудования могут значительно снизить область охвата автоматизацией объектов управления. В настоящее время существует проблема с прохождением сигнала через листву деревьев, так как падает дальность передачи данных. Можно ожидать, что совершенствование антенн может решить эту проблему.

Исходя из выше описанного, главной задачей эффективной эксплуатации КИПиА является продуманный и обоснованный выбор беспроводных решений для применения их в летний и зимний периоды работы.

### **3 Разработка функциональной схемы автоматизации**

Функциональная схема автоматизации составляется для того, чтобы показать основные технические решения при проектировании. На функциональной схеме отображены основное технологическое оборудование, системы автоматического регулирования, а также связующие компоненты автоматизированной системы.

На функциональной схеме автоматизации изображают технологическое оборудование, системы автоматического контроля, регулирования, а также связующие компоненты автоматизированной системы (трубопроводы).

Приборы и средства автоматизации изображаются согласно ГОСТ 21.208-2013 [2].

Средства автоматизации обеспечивают следующие основные функции:

- автоматическое регулирование технологического процесса;
- защиту основных и вспомогательных агрегатов и систем;
- дистанционный контроль и регистрацию текущих значений основных технологических параметров и состояния технологического оборудования.

Система контролирует следующие параметры:

- давление до крана;
- давление после крана;
- давление на аккумуляторах импульсного газа;
- температура после крана;
- сигнализатор прохождения очистного устройства;
- датчики электрохимзащиты (ЭХЗ).

Функциональная схема автоматизации согласно ГОСТ 21.408-2013 приведена в приложении Б.

#### **4 Обзор выбора интеллектуальных КИПиА для управления линейным участком МГ**

В условиях сложной политической ситуации в мире стала особенно актуальна проблема импортозамещения. В связи с этим перед разработчиками встает целый ряд вопросов: возможно ли подобрать все необходимые аппаратные и программные средства только отечественных производителей, будут ли они соответствовать всем заявленным требованиям, и как это скажется на технологическом процессе. Чтобы разобраться в сложившейся ситуации и найти ответы на возникшие вопросы рационально сравнить возможности российских и зарубежных производителей.

Проведем анализ положения на российском рынке промышленных автономных датчиков. Для сравнительного анализа технических решений, предлагаемых технологическими лидерами в области автоматизации, были выбраны следующие особенности сенсорных устройств, значимые для автоматизации технологических процессов нефтегазодобычи: характеристики полевого исполнения, типы датчиков, готовых для применения на НГО; условия их настройки; безопасность и техническая поддержка. Для сравнительной оценки были использованы технические каталоги продукции, информация из печатных статей российских и зарубежных журналов, отражающие задел мирового научного сообщества. К сожалению, полученные сведения отечественных компаний «СТРИЖ», «С-sensor», «СИАМ», «Сенсорика», «Метран», «Мида», «Теплоприбор», «Манатомь», «Взлет», «Элемер» на момент выполнения анализа показали недостаточную готовность автономных датчиков для применения на НГО. В ходе анализа наибольшую готовность среди отечественных производителей показала компания «Бинар», она обладает широким спектром беспроводных КИПиА.

При рассмотрении датчиков на мировом рынке было выявлено, что на территории РФ, а именно в компании АО «Томскгазпром», ОАО «Лукойл-Коми», ОАО «Газпром автоматизация», ООО «Газпром добыча Ноябрьск» наибольшее применение получили датчики компаний «Emerson», «Honeywell».



Поэтому список рассматриваемых беспроводных сенсоров будет состоять из зарубежных компаний «Emerson», «Honeywell» и отечественного производителя «Бинар».

#### 4.1 Выбор датчиков давления

Для измерения давления на линейных участках газопровода в условиях УХЛЗ были выбраны следующие параметры анализа:

- среда измерения;
- измеряемый параметр;
- диапазон измерений
- точность;
- время обновления;
- диапазон температуры измеряемой среды;
- диапазон температуры окружающей среды;
- срок службы батареи
- степень защиты;
- взрывозащита;
- цена.

В таблице 3 представлены технические характеристики выбранных беспроводных датчиков давления: Rosemaunt Emerson 3051S (рисунок 6), Honeywell XYR6000 (рисунок 4), Бинар ВН1225.600 (рисунок 5) [14-16].

Таблица 3 – Технические характеристики датчиков давления

Датчики температуры	Honeywell XYR6000	Бинар ВН1225.600	Rosemaunt Emerson 3051S
Среда измерения	Жидкости(в т.ч. нефтепродукты), пар, газ, газовые смеси	Жидкости (не уточняются какие) или газ	Жидкости (в т.ч. нефтепродукты), пар, газ, газовые смеси
Изменяемый параметр	Избыточное давление, абсолютное давление, разность давлений	Избыточное давление	Избыточное давление, абсолютное давление, разность давлений

Продолжение таблицы 3

Датчики температуры	Honeywell XYR6000	Бинар ВН1225.600	Rosemaunt Emerson 3051S
Диапазон измерений	Для избыточного давления: 0 – 41,5 МПа; Для абсолютного давления: 0 – 3,45 МПа; Для разности давлений: 0 – 20,68 МПа.	0 – 60 МПа	Минимальный 0 – 0,025 кПа; Максимальный 0 – 68,9 МПа.
Точность	±0,1 %	±0,25 %	±0,025 %
Время обновления	от 1 до 60 сек	от 3 до 3600 сек	от 1 до 7200 сек
Температура измеряемой среды	от минус 80 до плюс 200 °С	-	от минус 75 до плюс 205 °С
Температура окружающей среды	от минус 30 до плюс 85 °С	от минус 40 до плюс 50 °С	от минус 50 до плюс 80 °С
Срок службы батареи	6 лет	До 3 лет (при обновлении 60 сек)	10 лет (при обновлении данных 10 минут)
Степень защиты	IP66	IP66	IP68
Взрывозащита	1ExdIICT4	1ExdIICT4	1ExdIICT5
Цена, рубли	От 31 000	От 28 000	От 40 000



Рисунок 4 – Датчик давления Honeywell XYR6000



Рисунок 5 – Датчик давления ВН1225.600



Рисунок 6 – Датчик давления Rosemount Emerson 3051S

Сравним технические характеристики беспроводных датчиков давления газа. Максимальное давление газа в магистральном газопроводе может достигать 10 МПа. Все рассмотренные сенсоры подходят под заданное требование. У сенсоров компании «БИНАР» наибольшая погрешность показаний, а также время обновления показаний технических параметров наибольшая (3 секунды). У конкурентов наименьшее время обновления 1 секунда. Температура окружающей среды для датчиков компании «Honeywell» не удовлетворяют необходимым требованиям.

Из рассмотренных решений выбор был сделан в пользу Rosemount Emerson 3051S, так как его климатическое исполнение, а именно от минус 50 °С, соответствует требованиям Р Газпром. Также решение отличается наименьшей погрешностью. Срок службы также являлся ключевым при выборе датчика, у компании Emerson на датчик давления она составила 10 лет. Также была выбрана закладная конструкция, а именно закладные конструкции фланец Coplanar E16, углеродистая сталь, сплав С-276 (рисунок 7).

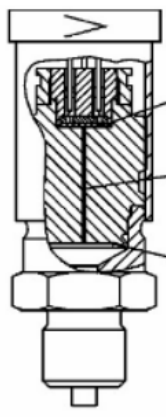


Рисунок 7 – Закладная конструкция фланец Coplanar

#### 4.2 Выбор датчиков температуры

Для измерения температуры на линейных участках газопровода в условиях УХЛЗ были выбраны следующие параметры анализа:

- среда измерения;
- диапазон измерений;
- точность;
- время обновления;
- температура окружающей среды;
- степень защиты;
- взрывозащита;
- цена.

В таблице 4 представлены технические характеристики выбранных беспроводных датчиков температуры: Rosemaunt Emerson 648 (рисунок 10), Honeywell XYR6000 (рисунок 8), Бинар ВН1225.700 (рисунок 9) [16-18].

Таблица 4 – Технические характеристики датчиков температуры

Датчики температуры	Honeywell XYR6000	Бинар ВН1225.700	Rosemaunt Emerson 648
Среда измерения	Жидкие и газообразные среды	Жидкость или газ, неагрессивный к нержавеющей стали	Жидкие и газообразные среды
Диапазон измерений	от минус 184 до плюс 649 °С	от минус 40 до плюс 100 °С	от минус 196 до плюс 1200 °С
Точность	±0,1 %	±0,25 %	±0,025 %

Продолжение таблицы 4

Датчики температуры	Honeywell XYR6000	Бинар ВН1225.700	Rosemaunt Emerson 648
Время обновления	от 1 до 30 сек	от 3 до 3600 сек	от 1 до 60 мин
Температура окружающей среды	от минус 30 до плюс 85 °С	от минус 40 до плюс 100 °С	от минус 50 до плюс 85 °С
Степень защиты	IP66	IP66	IP67
Взрывозащита	1ЕхdIICT4	1ЕхdIICT4	1ЕхdIICT5
Цена	От 30 000 рублей	От 32 000 рублей	От 35 000 рублей



Рисунок 8 – Датчик температуры Honeywell XYR6000



Рисунок 9 – Датчик температуры Бинар ВН1225.700



Рисунок 10 – Датчик температуры Rosemaunt Emerson 648

Из рассмотренных решений выбор был сделан в пользу Rosemaunt Emerson 648, так как его климатическое исполнение, а именно от минус 40 °С, соответствует требованиям Р Газпром. Также решение отличается большим

диапазоном времени обновления, что позволит более тонко настроить систему для длительного поддержания заряда аккумулятора беспроводного датчика. Также была выбрана закладная конструкция, а именно закладные конструкции ЗК4-1-1-95. ЗК4-1-1-95 используется для установки термопреобразователей на трубопроводе (рисунок 11).

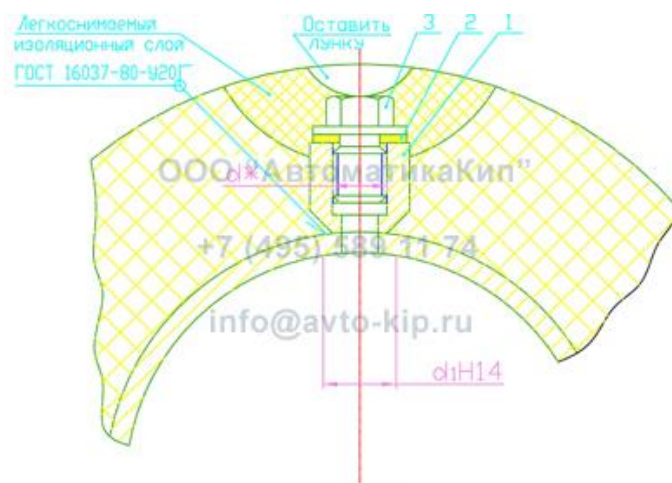


Рисунок 11 – Закладная конструкция ЗК4-1-1-95

#### 4.3 Выбор шлюза связи

Исходя из выше проведенного анализа датчиков были выбраны датчики одной компании «Emerson», следовательно, целесообразно использовать шлюз связи с датчиками этой же компании во избежание конфликтов. Рассмотрим беспроводной шлюз Rosemount 1410 (рисунок 12). Технические характеристики представлены в таблице 5.



Рисунок 12 – Беспроводной шлюз Rosemount 1410

Таблица 5 – Технические характеристики шлюза Rosemount 1410

Параметр	Описание
Полоса радиочастот	От 2400 до 2483,5 МГц
Максимальная излучаемая мощность	10 мВт (40 мВт для антенны выносной с высоким коэффициентом усиления, длиной 7,6 м)
Максимальная скорость передачи информации	250 кбит/с
Дальность действия	300 м стандартное исполнение, 1 км приборы увеличенного радиуса
Антенна	Выносная с кабелем
Диапазон температуры окружающей среды	От минус 40 до плюс 70 °С
Питание	Ном. Режим 24 В пост. тока
Степень защиты	IP65
Взрывозащита	0ExiaIICT4
Цена	От 40 000 рублей

#### 4.4 Сравнительная характеристика установленных на МГ датчиков с беспроводными аналогами

Проведем анализ среди датчиков давления и температуры, применяемых на линейных участках магистрального газопровода, с выбранными ранее беспроводными решениями.

На текущий момент на МГ наибольшее распространение получили датчики давления Метран-150TG и датчики температуры ТСМУ-10.

В таблице 6 представлено сравнение текущего датчика давления с беспроводным.

Таблица 6 – Сравнительная характеристика датчиков давления

Параметр	Rosemount 3051S	Метран-15TG
Диапазон измерений, МПа	До 68,9	До 60
Погрешность, %	±0,025	±0,065
Диапазон температуры измеряемой среды, °С	от минус 75 до плюс 205	от минус 40 до плюс 149
Диапазон температуры окружающей среды, °С	от минус 50 до плюс 80	от минус 40 до плюс 80
Выходной сигнал	Беспроводной WirelessHART протокол	4-20 мАHART, 0-5 мА
Степень защиты	IP68	
Взрывозащита	1ExdIICT5	
Стоимость, руб.	От 40 000	От 30 000

Из таблицы 6 видно, что датчик давления Rosemount 3051S по характеристикам практически идентичен датчику давления Метран-15TG. У Rosemount 3051S немного шире диапазон измерений, а также диапазоны температур измеряемой среды и окружающей среды. По степени защиты датчики одинаковы. Точность выше у датчика Rosemount 3051S, что является преимуществом, но цена ниже у Метран-150TG на 10 000 рублей.

В таблице 7 представлено сравнение текущего датчика температуры с беспроводным.

Таблица 7 – Сравнительная характеристика датчиков температуры

Параметр	Rosemount 648	ТСМУ-10
Диапазон измерений, °С	от минус 196 до плюс 1200	от минус 50 до плюс 160
Погрешность, %	±0,025	±0,1
Диапазон температуры окружающей среды, °С	от минус 50 до плюс 85	от минус 40 до плюс 50
Выходной сигнал	Беспроводной WirelessHART протокол	4-20 мА HART, 0-5 мА
Степень защиты	IP67	IP65
Взрывозащита	1ExiaIICT5	1ExiaIICT6
Стоимость, руб.	От 35 000	От 11 000

Из таблицы 7 видно, что датчик температуры Rosemount 648 по характеристикам практически идентичен датчику температуры ТСМУ-10. Степени защиты обоих датчиков позволяют устанавливать их на территориях взрывоопасных объектов. Стоит отметить значительную точность беспроводного решения, однако цена по сравнению с датчиком ТСМУ-10 выше в 2 раза.

Следует обратить внимание на некоторые факторы, компенсирующие стоимость беспроводных датчиков

На этапе проектирования влияют следующие факторы:

1) при разработке проекта по автоматизации большую часть времени у проектировщика занимает не техническая часть проекта, которая включает в себя разработку концепции систем автоматизации, составление общей электрической схемы, расстановку оборудования на планах объекта, а рутинные операции по оформлению проектной документации. На самом деле, можно



значительно снизить трудоемкость выполнения ряда документов (схем соединений и подключений внешних проводок, планов расположения оборудования и проводок, принципиальных электрических схем подключения, кабельных журналов);

2) всегда существует человеческий фактор, следовательно, чем более трудоемким является процесс проектирования, тем более вероятно возникновение ошибок;

3) при внесении изменений в документацию, много времени занимает процесс перерасчета спецификации, кабельного журнала [23]

Также стоит отметить, что датчики компании Emerson используют протокол WirelessHART. Важным достоинством его применения является то, что установленные проводные HART-приборы в нефтегазовой отрасли можно оснастить беспроводными модулями передачи данных, которые позволят модернизировать проводные HART-устройства в беспроводную сенсорную сеть. Это позволит обеспечить единый доступ ко всем приборам системы через беспроводной шлюз сбора данных.

Компания Emerson для самоорганизации сети используют в своих решениях динамическую топологию (Mesh). Эта способность позволяет любому узлу сети выполнять функции передачи пакетов данных с другим участникам сети путем их ретрансляции, что в ряде применений улучшает стабильность передачи данных. Динамическая топология сети значительно упрощает процесс планирования сети, повышает надежность сети, т. к. каждый узел сети может выполнять функции ретранслятора и таким образом может служить коммутатором для соседних узлов. Такая топология сети обеспечивает надежную передачу данных, отлично масштабируется и обеспечивает саморезервирование, поскольку возможно различное перенаправление данных от одного узла к точке назначения, минуя неисправные (недостижимые) узлы.

Так, компанией Emerson предлагается применение удлиненных антенн, что позволяет значительно расширить область охвата сенсорной сетью.

В силу того, что расстояние между крановыми площадками составляет 15-20 км, а использование комплексов коммуникационного оборудования (до 5 ретрансляторов) позволяет достигать расширения сети до 25 км, по заявлению компании Emerson, то использование автономных датчиков является оправданным выбором в газотранспортной системе.

## 5 Расчет погрешности метрологического канала АС

Произведем расчет погрешности измерительного канала (ИК) для температуры газа.

ИК состоит из последовательного соединённых приборов:

- Rosemount 648 преобразователь температуры;
- НПСИ-УНТ Нормирующий измерительный преобразователь унифицированный;
- модуль нормализации сигналов;
- АЦП AD7170BCPZ-500RL7;
- Rosemount 1410 беспроводной шлюз;
- контроллер ОВЕН ПЛК323.

Структурная схема измерительного канала по температуре газа представлена на рисунке 13.



Рисунок 13 – Структурная схема измерительного канала

Для нормального закона распределения случайных составляющих погрешности в % от нормирующего значения среднеквадратическое отклонение (СКО) погрешностей компонентов ИК определяется по формуле (1):

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N Y_i^2}}{\sqrt{3}}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – СКО погрешностей компонентов ИК;

$Y_i$  – пределы основной приведенной погрешности соответствующего прибора;

$N$  – количество приборов.

Пределы основной приведенной погрешности приборов входящих в состав ИК, приведенные в документации и руководствах по эксплуатации на соответствующие приборы:

- Rosemount 648 преобразователь температуры – 0,025 %;
- НПСИ-УНТ Нормирующий измерительный преобразователь унифицированный – 0,1 %;
- модуль нормализации сигналов – 0,2 %;
- АЦП AD7170BCPZ-500RL7 – 0,5%;
- Rosemount 1410 беспроводной шлюз – 0,1 %;
- контроллер ОВЕН ПЛК323– 0,05 %.

$$\sigma_{осн} = \frac{\sqrt{0,025^2 + 0,1^2 + 0,2^2 + 0,5^2 + 0,1^2 + 0,05^2}}{\sqrt{3}} = 0,3\%.$$

После этого согласно РМГ 62-2003 «Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации» была рассчитана погрешность канала устройства связи с объектом АСУ ТП, а также следующие дополнительные погрешности: напряжение питания, частота тока питания, температура окружающего воздуха, вибрация, сопротивление нагрузки, продолжительность эксплуатации, помехи различного вида [19]:

$$\sigma_1 = \frac{0,043 \cdot 5\%}{100\%} = 0,00215 \%;$$

$$\sigma_2 = \frac{0,043 \cdot 2\%}{100\%} = 0,00086 \%;$$

$$\sigma_3 = \frac{0,043 \cdot 9\%}{100\%} = 0,00387 \%;$$

$$\sigma_4 = \frac{0,043 \cdot 5\%}{100\%} = 0,00215 \%;$$

$$\sigma_5 = \frac{0,043 \cdot 5\%}{100\%} = 0,00215 \%;$$

$$\sigma_6 = \frac{0,043 \cdot 26\%}{100\%} = 0,01118 \%;$$

$$\sigma_7 = \frac{0,043 \cdot 10\%}{100\%} = 0,0043 \%.$$

Так как система будет применять беспроводные технологии наибольшую дополнительную погрешность вносят продолжительность эксплуатации – 0,01118%, а также различные помехи – 0,0043%.

В итоге общая погрешность канала измерений учитывая все факторы составляет:

$$\sigma_{\text{дон}} = \sqrt{\frac{0,00215^2 + 0,00086^2 + 0,00387^2 + 0,00215^2 + 0,00215^2 + 0,01118^2 + 0,0043^2}{3}} = 0,026\%.$$

$$\sigma_{\text{общая}} = 0,3 + 0,026 = 0,326\% .$$

Согласно ВТТ к СЛТМ принятым в Газпром:

- общая погрешность измерительных каналов СЛТМ не должна превышать 0,4 % [3].

Таким образом, полученное значение удовлетворяет требованиям ВТТ к СЛТМ Газпром.

## 6 Расчет показателей надёжности модернизируемой системы

В реализации системы линейной телеметрии одного кранового участка газопровода принимают участие  $n$  датчиков ( $n = 4$ ),  $m$  исполнительных механизмов ( $m = 1$ ), шлюз, ПЛК и соединение между шлюзом и ПЛК.

Надёжность является внутренним свойством системы, которое закладывается при ее проектировании и проявляется вовремя ее эксплуатации. Для проведения расчетов была составлена спецификация элементов САУ (таблица 8).

Таблица 8 – Спецификация элементов проектируемой системы

№	Параметр	Тип датчика	Количество	Описание
1	Давление до и после крана, давление на аккумуляторе импульсного газа	Rosemount 3051s	3	Преобразователь давления
2	Температура после крана	Rosemount 648	1	Преобразователь температуры
3	Исполнительный механизм	МехМаш	1	Клапан с пневмогидро приводом
4	Шлюз связи с нижним уровнем	Rosemount 1410	1	Беспроводной шлюз
5	ПЛК	ОВЕН ПЛК323	1	ПЛК среднего уровня
6		Клеммные соединения	1	

Отказ какого-либо элемента системы приведет к нарушению работоспособности всей системы. С учетом этого, структурная схема надёжности, проектируемой САУ имеет вид последовательно соединённых элементов системы, структурная схема отображена на рисунке 14.



Рисунок 14 – Структурная схема надёжности аппаратной части проектируемой системы

В модели надежности был использован пуассоновский поток, из-за того, что система спроектирована с использованием высоконадежных элементов. Поэтому распределение времени наработки до отказа подчиняется экспоненциальному закону:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

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

$$\lambda_i(t) = \frac{1}{T_i}. \quad (3)$$

Далее были рассчитаны значения интенсивности отказов элементов системы и записаны в таблицу 9.

Таблица 9 – Спецификация элементов проектируемой системы с указанием интенсивности отказов

№	Тип датчика	Количество	$T_i \cdot 10^5, ч$	$\lambda_i \cdot 10^{-5}, ч^{-1}$	$\sum \lambda_i \cdot 10^{-5}, ч^{-1}$	Источники
1	Rosemount 3051	3	1,5	0,667	2,000	[14]
2	Rosemount 648	1	0,8	1,250	1,250	[18]
3	МехМаш	1	1,15	0,870	0,870	[21]
4	Rosemount 1410	1	0,8	1,250	1,250	[14]
5	ОВЕН ПЛК323	1	1	1,000	1,000	[19]
6	Клеммные соединения	1	20	0,050	0,050	[21]

Далее были рассчитаны значения времени наработки до отказа для каждого элемента системы:

$$P_1(t) = e^{-2 \cdot 10^{-5} \cdot t};$$

$$P_2(t) = e^{-1,25 \cdot 10^{-5} \cdot t};$$

$$P_3(t) = e^{-0,87 \cdot 10^{-5} \cdot t};$$

$$P_4(t) = e^{-1,25 \cdot 10^{-5} \cdot t};$$

$$P_5(t) = e^{-1,0 \cdot 10^{-5} \cdot t};$$

$$P_6(t) = e^{-0,05 \cdot 10^{-5} \cdot t}.$$

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

$$P_{CAУ} = \prod_{i=1}^k P_i(t). \quad (4)$$

Подставляя в формулу (4) ранее определенные значения интенсивности отказов элементов, получим:

$$P_{CAУ} = \prod_{i=1}^k P_i(t) = e^{-6,42 \cdot 10^{-5} \cdot t}.$$

Чтобы определить время надежной работы  $T_{НР}$ , соответствующее времени, когда вероятность безотказной работы системы  $\geq 0,9$  был построен график зависимостей  $P(t)$ , график представлен на рисунке 15.



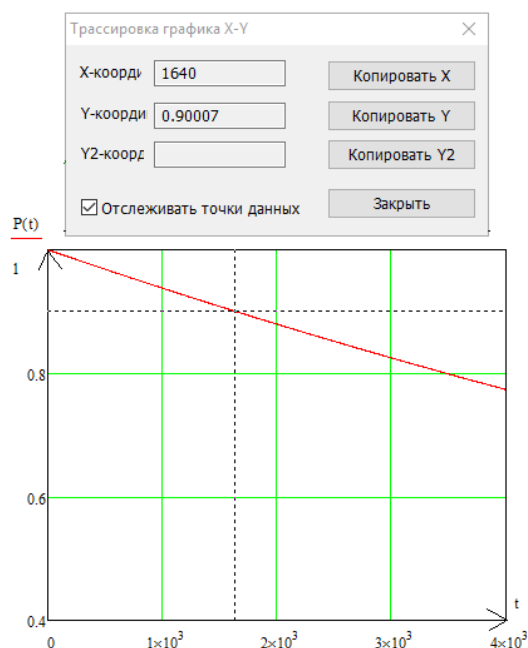


Рисунок 15 – График зависимости  $P(t)$  для проектируемой САУ

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

$$T_{НР} = 1640 \text{ часа.}$$

Среднее время наработки на отказ САУ было определено по формуле:

$$T_{СР} = \frac{1}{\sum \lambda_{АСУ}} = 15576 \text{ (часа).}$$

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:

$$K_G = \frac{T_{CP}}{T_{CP} + T_B} = \frac{15576}{15576 + 3} = 0,9998.$$

Согласно ВТТ к СЛТП принятым в Газпром:

- средняя наработка СЛТМ на отказ по любому из каналов ТИ при работе в нормальных условиях без учета отказов датчиков должна составлять не менее 10 000 часов и соответствовать классу R3;
- коэффициент готовности (вероятность нахождения АСУ ТП объекта в любой момент определенного периода в работоспособном состоянии) – не менее 0,98 [3].

Таким образом система удовлетворяет требованиям Газпром.

## 7 Разработка алгоритма управления АС

В данном разделе разработаем следующие алгоритмы управления автоматизированной системой линейной части магистрального газопровода:

- сбор данных с датчиков;
- открытие или закрытие линейного крана;
- перевод крановой площадке на работу по байпасной линии;
- продувка линейного участка от газа через свечной кран.

Блок-схема начинается с инициализации показаний датчиков. Происходит их масштабирование. Далее происходит контроль на несанкционированное проникновение на территорию. В случае наличия возникновения сигнализации проникновения, происходит формирование сообщения на АРМ оператора: «Несанкционированное проникновение на крановую площадку», а также происходит автоматическая блокировка местного управления ЭПУУ (электропневматического узла управления).

При отсутствии сигнализации происходит сравнение значений с датчиков с нормативными. При выходе из заданного предела происходит оповещение оператора о превышении или выхода за нижний предел значений. У оператора имеется кнопка-квитирования, то есть благодаря ей можно проигнорировать сигнализацию, при этом данные будут занесены в журнал действий оператора АРМ.

Далее так как модернизируемая система предусматривает применение интеллектуальных КИПиА, следовательно, необходимо обеспечить контроль за зарядом аккумулятора батарей датчиков. При значительном разряде происходит формирование сообщения: «Низкий запас заряда батареи датчиков».

Далее необходимо считывать данные позиционера для получения информации о положении крана. Если кран находится в промежуточном положении формируется команда на запуск дожима крана, если в течении заданного времени не происходит окончательный перестанов, то формируется

сообщение оператору: «Неопределенное положение линейного крана №километраж». Аналогичные алгоритмы для обводных и свечного кранов.

Далее для отображения актуальной информации крановой площадки, предусмотрены сравнивающие блоки открытия или закрытия кранов.

Далее необходимо предусмотреть возможность переключения оператором крановой площадки на различные режимы работы. Это достигается сравнивающими элементами, которые наблюдают за нажатием кнопок оператором. Рассмотрим на примере команды открытия крана. При нажатии на кнопку «Открыть линейный кран» формируется команда на открытие, если в течении заданного времени не происходит перестанов, формируется сообщение: «Ошибка открытия линейного крана». В случае успеха выполнения команды формируется сообщение: «Линейный кран открыт».

Блок-схема алгоритма управления крановой площадкой (закрытия-открытия) в командном и автоматическом режимах работы с экранной контекстной поддержкой оператора представлена в приложении В.

## 8 Исследование САР линейного участка магистрального газопровода

В данном пункте описан алгоритм поддержания заданного давления магистрального газопровода, который обеспечивает необходимую степень регулирования, а также малое время выхода на заданный режим и допустимую чувствительность к внешним воздействиям.

Основные элементы схемы: ПЛК с ПИД-регулятором, ЭПУУ (электропневмо узел управления), клапан с пневмогидроприводом, трубопровод МГ.

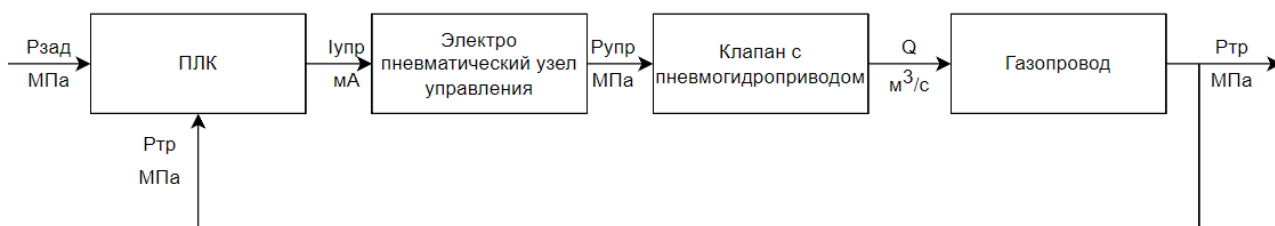


Рисунок 16 – Структурная схема САР контроля давления в газопроводе

Участок газопровода после клапана является объектом управления. С панели оператора задается давление, которое необходимо поддерживать в газопроводе. В ПЛК также подается значение с датчика давления, происходит сравнение значений, и формируется выходной токовый сигнал. Сформированный сигнал подается на ЭПУУ (электропневматический узел управления), на выходе которого имеет управляющее импульсное давление для пневмогидропривода клапана. Клапан с пневмогидроприводом преобразует пневматическую энергию в поступательное движение штока клапана, в результате чего происходит изменение потока газа, следовательно, давление в трубопроводе будет изменяться.

Составим математическую модель. Передаточная функция объекта управления можно описать апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием [22]:

$$W(s) = \frac{1}{T \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_0 \cdot s}. \quad (5)$$

Постоянная времени объекта управления находится по следующей формуле (6) [3]:

$$T = \frac{2 \cdot L \cdot \rho \cdot c^2}{Q} \quad (6)$$

Величина  $c$  была найдена по следующей формуле (7):

$$c = \frac{Q}{f} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p g}} \quad (7)$$

Площадь сечения трубы (8):

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (8)$$

Время запаздывания было рассчитано по формуле (9):

$$\tau_0 = \frac{L\rho}{Q} \quad (9)$$

Исходные данные для участка трубопровода:

Удельный плотность газа –  $0,71 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

Длина трубопровода между датчиком и ИУ – 10 м;

Диаметр трубы – 800 мм;

Расход –  $400 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$ ;

Перепад давления – 0,5 МПа.

Произведем расчеты с учетом того, что:

$$L = 10(\text{м});$$

$$d = 800(\text{мм}) = 0,8(\text{м});$$

$$\Delta P = 0,5(\text{МПа}) = 50985,5 \left( \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} \right);$$

$$Q = 400 \left( \frac{\text{м}^3}{\text{час}} \right) = 0,111 \left( \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right);$$

$$S = \frac{\pi \cdot 0,8^2}{4} = 0,503(\text{м}^2);$$

$$T = \frac{2LS c^2}{Q} = \frac{2LS}{Q} \cdot \frac{Q^2}{s^2} \cdot \frac{\rho}{2\Delta p S g} = \frac{LQ\rho}{\Delta p S g} = \frac{10 \cdot 0,111 \cdot 0,71}{50985,5 \cdot 0,503 \cdot 9,8} = 0,000314;$$

$$\tau_0 = \frac{0,1 \cdot 0,503}{0,111} = 0,4531.$$

Значит, передаточная функция трубопровода будет:

$$W(s) = \frac{1}{0,000314 \cdot s + 1} \cdot e^{-0,4531 \cdot s}$$

Также передаточная функция для ЭПУУ можно записать как апериодическое звено первого порядка и записана она будет:

$$K_{\text{ЭПУУ}} = \frac{\Delta P_{\text{акк}}}{\Delta I} = \frac{30}{16} = 1,875;$$

$$T_{\text{ЭПУУ}} = 0,1;$$

$$W_{\text{ЭПУУ}}(s) = \frac{1,875}{0,1s + 1}$$

Принимая коэффициент редукции  $k_{\text{ред}} = 0,02$ , передаточную функцию для клапана с пневмогидроприводом можно записать как апериодическое звено второго порядка и записать её можно как:

$$K_{\text{пневмогидропривода}} = \frac{\Delta Q}{\Delta P} = \frac{1000}{30} = 33;$$

$$W_{\text{клапана}}(s) = \frac{K_{\text{пневмогидропривода}} \cdot K_{\text{ред}}}{T_{\text{пневмогидропривода}} s^2 + s} = \frac{33 \cdot 0,02}{0,9s^2 + s} = \frac{0,66}{0,9s^2 + s}$$

Поддерживаемое давление в магистральном газопроводе 6 МПа.

Далее была разработана модель САР кранового узла в программном обеспечении Matlab Simulink R2020b (рисунок 17).

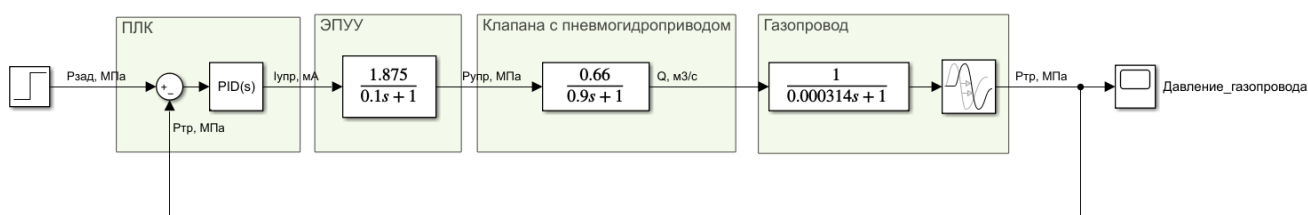


Рисунок 17 – Модель САР кранового узла

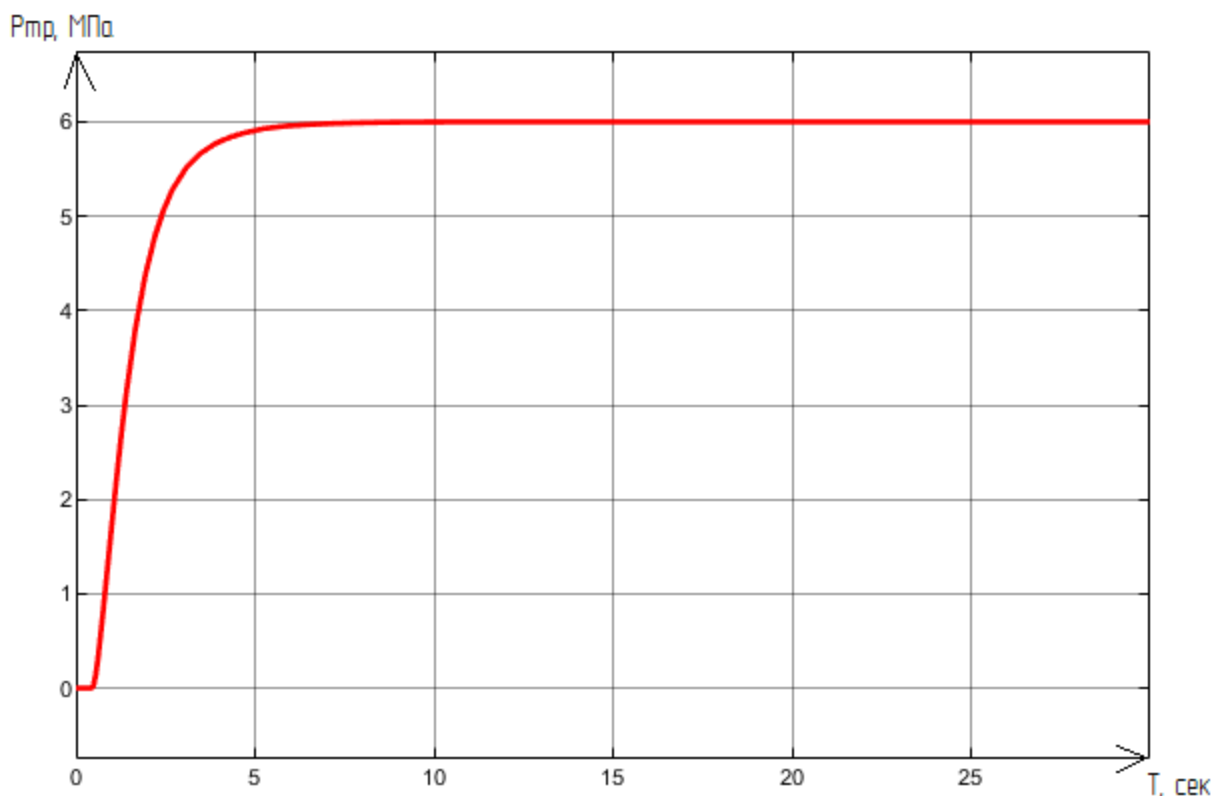


Рисунок 18 – Переходный процесс кранового узла

Также следует проверить работу системы при наличии внешнего возмущающего воздействия. Подадим случайные возмущающие сигналы в произвольные моменты времени, а именно каждые 10 секунд и проследим поведение системы. Операторно-структурная схема представлена на рисунке 19, а показания осциллографа на рисунке 20.

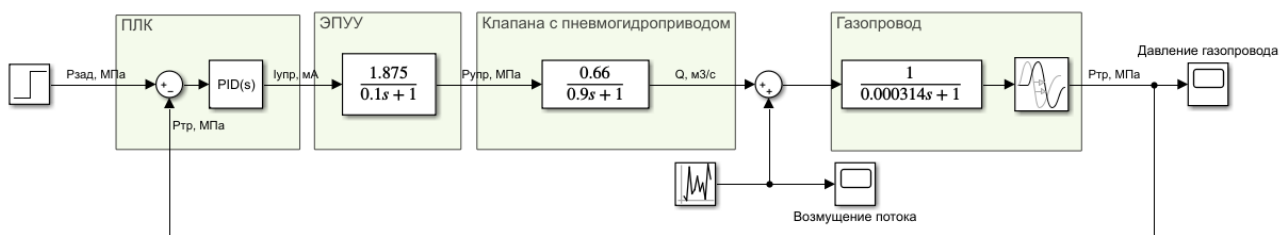


Рисунок 19 – Модель САР кранового узла с возмущением



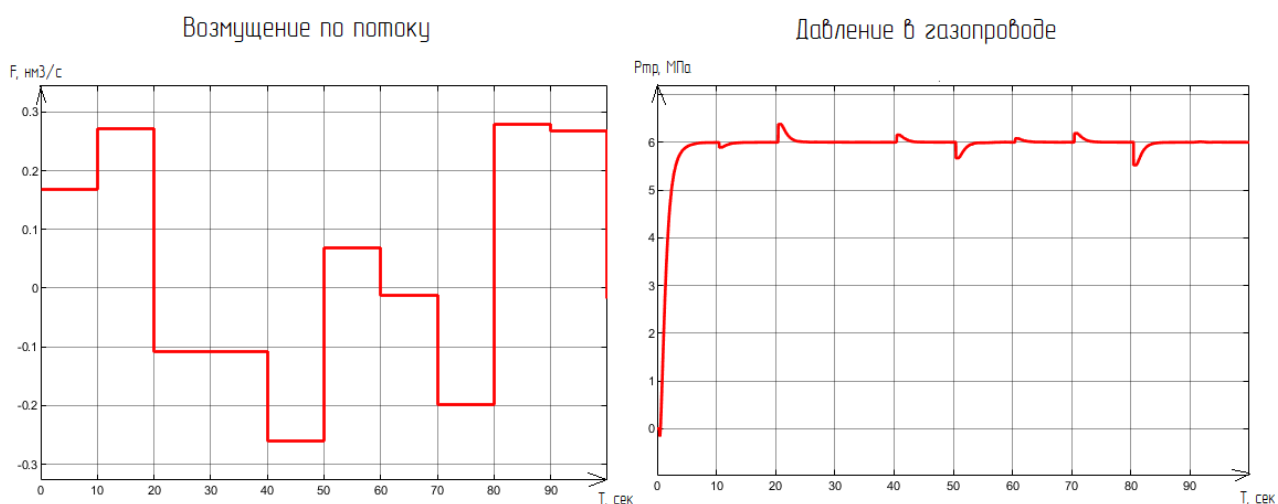


Рисунок 20 – Переходный процесс кранового узла с возмущением по потоку

Из рисунка 20 видно, что при увеличении потока газа (например, при возрастании потребления газа потребителем), давление в трубопроводе начинает падать и наоборот. По результату можно заметить, что система справляется с внешним воздействием после отклонения от внешнего воздействия система вновь возвращается к уставке давления в газопроводе, следовательно, данную систему можно использовать в качестве системы стабилизации давления.

Система удовлетворяет прямым и косвенным показателям качества. В результате всех вычислений, была получена система без перерегулирования и с временем переходного процесса 6 секунд. Для модернизируемой системы эти показатели являются удовлетворительными.

## 9 Разработка экранных форм управления магистральным газопроводом

Для создания человеко-машинного интерфейса использовалось программное обеспечение TRACE MODE IDE 6.

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.

Разработанная мнемосхема позволяет обеспечить оператора информацией о текущем состоянии крановой площадки линейного участка магистрального газопровода, а также актуальное информирование о состоянии средств КИПиА. Экранная форма состоит из следующих элементов:

- наименование магистрального газопровода и ЛПУ;
- переключение между контролируемыми пунктами магистрального газопровода, расположенные между компрессорными станциями;
- крановый журнал;
- главное окно со всеми контролируемыми пунктами, согласно выбранному разделу;
- всплывающие окна управления крановой площадки при нажатии на кнопку подробно.

На экран выводятся следующие параметры: давление до и после линейного крана, температура в газопроводе, положение крана (открыто – зеленое цветовое обозначение, закрыто – красным), сигнализация малого заряда аккумулятора датчиков, пожара, проникновения на территорию площадки и потеря пакетов данных. Во всплывающем окне конкретно выбранного контролируемого пункта отображается время дожима крана, максимальное время перестановки линейного крана, а также сигнализация о высокой скорости изменения давления в газопроводе до и после линейного крана.

## 10 Анализ полученных результатов

В ходе выполнения основного раздела выпускной квалификационной работы был проведен анализ возможности модернизации линейного участка магистрального газопровода, а именно крановой площадки путём применения на них автономных контрольно-измерительных приборов и автоматики.

Исходя из анализа перспектив использования автономных датчиков и сетей на их основе, основными преимуществами использования автоматизации в газотранспортных системах на основе автономных датчиков являются:

- сокращение капитальных затрат за счет исключения такой статьи расходов, как обустройство кабельной инфраструктуры;
- происходит сокращение сроков запуска оборудования, поскольку отсутствует необходимость прокладывать кабельные трассы;
- отсутствие необходимости выполнения комплексного инструментального контроля для установки/модернизации кабельных эстакад; в некоторых случаях это ведет к отказу в использовании затратных эстакадных конструкций кабельных проводок, что снижает стоимость работ по автоматизации протяженных объектов управления.

В результате выполненного исследования хотя и не удалось обнаружить ощутимую экономическую эффективность замены проводных каналов связи на их беспроводной аналог, тем не менее можно ожидать, что в результате улучшения беспроводных сенсоров их использование окажется экономически выгодным.

При выборе автономных датчиков акцент был направлен на наличие взрывозащищенной оболочки, диапазон температуры окружающей среды, наличия динамической топологии и точности измерения. Исходя из описанных критериев наибольшую степень готовности среди технологических лидеров показала компания Emerson. Выбранные беспроводные датчики данной компании пригодны для применения в районах с пониженной температурой

вплоть до минус 50 °С, а также имеют наименьшую погрешность измерений по сравнению с конкурентами.

В разделе была разработана функциональная схема по ГОСТ 21.408-2013 линейного участка магистрального газопровода. Также были произведены расчеты погрешности метрологического канала измерения температуры, а также надежности системы с применением беспроводных решений. В результате расчетов, согласно ВТТ к СЛТП принятым в Газпром, разработанная система удовлетворяет заданным требованиям. Были разработаны алгоритм автоматического ПИД-регулирования давления в газопроводе, и алгоритм управления крановой площадкой, который обеспечивает высокую надежность и безопасность эксплуатации линейного участка. Разработана информативная экранная форма контроля и управления линейными участками магистрального газопровода в удобной для оператора форме, которая позволит своевременно реагировать на отклонения и сигнализации технологического процесса для осуществления безопасной эксплуатации газотранспортной системы.

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

### **11.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Потенциальными потребителями результатов исследований являются коммерческие организации в газотранспортной отрасли. К таким организациям можно отнести: ПАО «Газпром», в частности подразделения ООО «Газпром трансгаз», «Сахалин Энерджи».

В данной бакалаврской работе рассматривается модернизация автоматизированной системы управления крановым узлом линейной части магистрального газопровода путем применения сенсорной сети автономных КИПиА. Целью модернизации АСДУ газотранспортной системы является снижение потерь газа, уменьшение себестоимости самого процесса транспорта, уменьшение количества обслуживающего персонала.

### **11.2 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Исходя из основной части выпускной квалификационной работы выбор был сделан в пользу компании «Emerson». Анализ проводился в соответствие требованиям, прописанными в Р Газпром. В данном разделе рассмотрим конкурентоспособность данной компании по техническим и экономическим критериям.

Для оценки сравнительной эффективности ВКР составлена оценочная карта (таблица 10). Данный анализ помогает определить сильные и слабые стороны конкурентов. В качестве конкурентных технических решений выбраны: установленное оборудование ( $B_{к1}$ ), использующее кабельное подключение и отечественный производитель сенсорных датчиков «Бинар» ( $B_{к2}$ ). Решение в

предложенной работе ( $B_{\phi}$ ), отличается внедрением новых датчиков на линейные участки от компании «Emerson».

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$K_{\phi}$	$K_{K1}$	$K_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Взрывозащищенность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
Помехоустойчивость	0,15	4	5	3	0,6	0,75	0,45
Энергонезависимость	0,12	5	3	4	0,6	0,36	0,48
Надежность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
Точность измерений	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Передача информации на большие расстояния	0,15	4	5	4	0,6	0,75	0,6
Возможность модификации	0,06	5	2	4	0,3	0,12	0,24
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Цена	0,06	2	4	5	0,12	0,16	0,2
Послепродажное обслуживание	0,04	3	4	5	0,12	0,16	0,2
Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
Затраты на обслуживание	0,07	2	3	4	0,14	0,21	0,28
Итого	1	44	43	44	4,13	4,08	3,85

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле 10:

$$K = \sum B_i \cdot B_j, \quad (10)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_j$  – балл  $i$ -го показателя.

Из оценочной карты можно заметить, что текущий проект, основанный на оборудовании от компании «Emerson», является конкурентоспособным. Стоит заметить, что его положительными сторонами является энергонезависимость, простота модернизации системы, за счет применения интеллектуальных датчиков. Анализируя экономические критерии можно заметить, что

предложенное решение уступает в цене, послепродажном обслуживании и затрат на обслуживание, так как существует вероятность введения санкций от зарубежных компаний, а также при выходе из строя такого датчика большая вероятность, что придется заказывать новый аналогичный датчик.

### **11.3 SWOT-анализ**

SWOT-анализ – метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

С помощью SWOT–анализа были выявлены и структурированы сильные и слабые стороны, а также потенциальные возможности и угрозы. Результаты SWOT–анализа представлены в форме SWOT–матрицы и занесены в таблицу 11.

Таблица 11 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Современные датчики.</p> <p>С2. Использование беспроводных технологий.</p> <p>С3. Возможность модификации.</p> <p>С4. Точность измерений.</p> <p>С5. Передача информации на большие расстояния.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Отсутствие у персонала опыта работы с новой технологией.</p> <p>Сл2. Сложность конструкции КИПиА.</p> <p>Сл3. Отсутствие опытно-наладочных работ.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Модернизация газотранспортной системы.</p> <p>В2. Тенденция роста цены газа.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В4. Рост роли автоматизации технологических систем в промышленности.</p>	<p>В1С3. Позволит компании производить непрерывную модификацию газотранспортной системы без замены АСУ на новую.</p> <p>В3С1. Один из лучших технических и временных показателей системы.</p> <p>В4С2С3. Увеличение функциональных возможностей и улучшение технических характеристик АСУ.</p>	<p>В1Сл3. Проведение испытаний и тестов на предприятии.</p> <p>В4Сл1. Стимулирование студентов на трудоустройство в компанию.</p> <p>В4Сл2. Расширение штата АСУ ТП, а также обучение старому методам работ с новым оборудованием.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Повышение цен на оборудование</p> <p>У2. Ограничение импорта от зарубежной компании</p> <p>У3. Обширная рекламная компания со стороны конкурентов</p>	<p>У1С3. Модификация газотранспортной системы, что позволит снизить себестоимость газа.</p> <p>У2С1С2. Использовать продукцию отечественного производителя (например, «Бинар»).</p> <p>У3С1С2. Продвигать продукцию с акцентированием на её достоинствах.</p>	<p>У3Сл1. Провести опытно-наладочные работы и продемонстрировать успешность их функционирования.</p>

Таким образом, после проведения анализа по методике SWOT были выявлены возможности устранения слабых сторон, который заключается в основном, в наращивании штата высококвалифицированных сотрудников. Также согласно угрозам и слабым сторонам были предложены пути решения по оптимизации и сокращению рисков, а именно необходимостью проведения опытно-наладочных работ и демонстрацией успешности функционирования системы. Сильные стороны, которые выделяются это: использование



современных датчиков, использование протокола WirelessHART (беспроводные технологии) и простота модификации системы.

## 11.4 Планирование научно-исследовательских работ

### 11.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Составим перечень этапов и работ в рамках проектирования беспроводной технологии автоматизированного управления линейной части магистрального газопровода, проведем распределение исполнителей по видам работ. В таблице 12 представлен данный перечень.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Поиск и анализ материалов по тематике	Руководитель, инженер
	3	Выбор направления исследования	Руководитель, инженер
	4	Постановка целей и задач работы	Руководитель, инженер
	5	Календарное планирование работа по теме	Руководитель, инженер
	6	Описание технологического процесса	
	7	Разработка функциональной схемы АС по ГОСТ 21.208-2013	
	8	Описание принципа взаимодействия интеллектуальных КИПиА	
	9	Выбор беспроводных интеллектуальных датчиков, шлюзов	Инженер
	10	Расчет погрешности метрологического калана АС	Инженер
	11	Расчет показателей надёжности АС	Инженер
	12	Разработка алгоритмов управления АС	Инженер
	13	Разработка системы автоматического регулирования давления	Инженер
	14	Разработка экранных форм управления магистральным газопроводом	Инженер

Продолжение таблицы 12

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
	15	Написание раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Инженер, консультант по разделу
	16	Написание раздела «социальная ответственность»	Инженер, консультант по разделу
Оформление отчета по НИР	17	Составление пояснительной записки	Руководитель, инженер
	18	Подготовка презентации выпускной квалификационной работы	Руководитель, инженер

### 11.4.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоёмкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (11)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоёмкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (12)$$

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

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (13)$$

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

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (14)$$

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

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году, в частности  $T_{вых} = 52$ ;

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

Тогда значение коэффициента календарности:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,221.$$

Все рассчитанные значения были сведены в таблицу 13.

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$	Длительность работа в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ожг}$ , чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	3	5	3,8	Руководитель	3,8	5
Поиск и анализ материалов по тематике	5	7	5,8	Руководитель, инженер	2,9	4
Выбор направления исследования	1	1	1	Руководитель, инженер	0,5	1
Постановка целей и задач работы	1	2	1,4	Руководитель, инженер	0,7	1
Календарное планирование работа по теме	1	2	1,4	Руководитель, инженер	0,7	1
Описание технологического процесса	3	5	3,8	Инженер	3,8	5
Разработка функциональной схемы АС по ГОСТ 21.208-2013	5	7	5,8	Инженер	5,8	8
Описание принципа взаимодействия интеллектуальных КИПиА	2	4	2,8	Инженер	2,8	4
Выбор беспроводных интеллектуальных датчиков, шлюзов	8	12	9,6	Инженер	9,6	12
Расчет погрешности метрологического калана АС	4	6	4,8	Инженер	4,8	6
Расчет показателей надёжности АС	6	8	6,8	Инженер	6,8	9
Разработка алгоритмов управления АС	6	8	6,8	Инженер	6,8	9
Разработка системы автоматического регулирования давления	4	7	5,2	Инженер	5,2	7

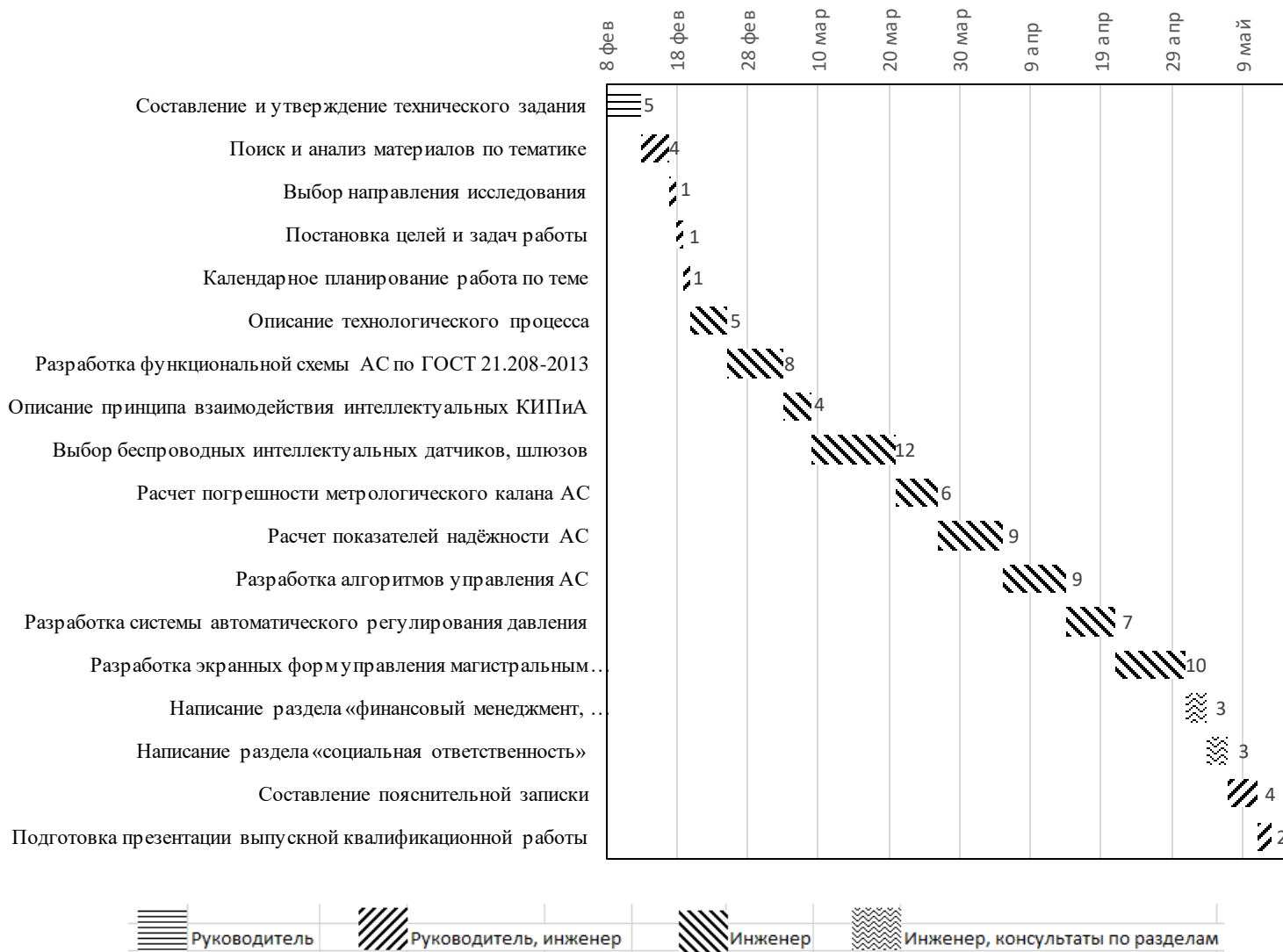
Продолжение таблицы 13

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$	Длительность работа в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ожi}$ , чел-дни			
Разработка экранных форм управления магистральным газопроводом	6	10	7,6	Инженер	7,6	10
Написание раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	4	6	4,8	Инженер, консультант по разделу	2,4	3
Написание раздела «социальная ответственность»	4	6	4,8	Инженер, консультант по разделу	2,4	3
Составление пояснительной записки	5	7	5,8	Руководитель, инженер	2,9	4
Подготовка презентации выпускной квалификационной работы	2	4	2,8	Руководитель, инженер	1,4	2
Итого					70,9	94
				Руководитель	12,9	18
				Инженер	67,1	89

### 11.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

График проведения научных работ представлен в форме диаграммы Гранта, которая представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Календарный план-график проведения НИОКР



## 11.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

### 11.5.1 Расчет затрат на специальное оборудование НТИ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств, механизмов, ПК), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам. Расчет затрат по данной статье отображены в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед.	Затраты Руб.
Ноутбук	Шт.	1	50000	40000
Matlab	Кол-во месяцев	3	5100 руб./мес.	15300
AutoCad	Кол-во месяцев	3	3250 руб./мес.	9750
Итого:				65050

### 11.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (15)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (17)$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\partial}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 16).

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени	56	28
- отпуск	0	0
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени (Fd)	243	271

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) \cdot k_p, \quad (18)$$

где  $Z_{mc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{tc}$ );

$k_{\partial}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{tc}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Оклад, Руб.	$k_{np}$	$k_{\partial}$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	37700	-	-	1,3	49010	2097,5	13	27267,5
Инженер	19200	-	-	1,3	24960	957,9	68	68010,9
Итого								95278,4

### 11.5.3 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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (19)$$

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

Следовательно, дополнительная заработная плата для руководителя составит – 4090,13 рублей, а для инженера – 10201,64 рублей (при  $k_{доп} = 0,15$ ).  
Итого – 14291,77

#### **11.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (20)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2022 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (таблица 18).

Таблица 18 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	Итого, руб.
Руководитель	27267,5	4090,13	30	9407,29
Инженер	68010,9	10201,64	30	23463,76
Итого				32871,05

### 11.5.5 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:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (21)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (65050 + 95278,4 + 14291,77 + 32871,05) \cdot 0,16 = \\ &= 33198,59(\text{рублей}) \end{aligned}$$

### 11.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	65050	Пункт 10.5.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	95278,4	Пункт 10.5.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14291,77	Пункт 10.5.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	32871,05	Пункт 10.5.4
5. Накладные расходы	33198,59	Пункт 10.5.5
6. Бюджет затрат НТИ	240689,81	Сумма ст. 1-5

### **11.6 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.

*Интегральный показатель финансовой эффективности* научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (таблица 16). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

*Интегральный финансовый показатель* разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (22)$$

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

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

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

$$\Phi_{p\phi}=240689,81;$$

$$\Phi_{pk1}=300862,26;$$

$$\Phi_{pk2}= 221434,63.$$

*Интегральный показатель ресурсоэффективности* вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (23)$$

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

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

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

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 20).

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	$B_{\phi}$	$B_{\kappa 1}$	$B_{\kappa 2}$
Взрывозащищенность	0,12	5	5	4
Помехоустойчивость	0,15	4	5	3
Энергонезависимость	0,18	5	3	4
Надежность	0,2	4	5	4
Точность измерений	0,1	5	3	3
Передача информации на большие расстояния	0,1	4	5	4
Возможность модификации	0,15	5	2	4
ИТОГО	1	32	28	26

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,12 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,18 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 = 4,55 ;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,12 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,15 = 3,99 ;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,12 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,18 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 3,75 .$$

*Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки* ( $I_{исп.i.}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}} , \quad (24)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} , \quad (25)$$

На основе расчетов составим сравнительную эффективность разработки (таблица 21).

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	1	0,73
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	3,99	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	5,69	3,99	5,14
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,7	0,78

Таким образом, разработанный проект превосходит свои конкурентов по интегральному показателю ресурсоэффективности разработки и интегральному показателю эффективности. Если рассматривать интегральный финансовый показатель разработки, то предлагаемая разработка позволяет произвести удешевление стоимости разработки, однако наилучший показатель у конкурента 2 компании «Бинар». Исходя из полученных данных сравнения, более эффективным является первый вариант, то есть разработанное решение.

### **Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

В данном разделе оценены экономические аспекты разработки исследуемой автоматизированной системы управления линейным участком магистрального газопровода. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования такие как, ПАО» Газпром», «Сахалин Энерджи».

Проведён анализ конкурентных технических решений. В качестве конкурентов рассматривалась установленная система использующая кабельные соединения и отечественный производитель «Бинар». Стоит заметить, что положительными сторонами разрабатываемого проекта по сравнению с конкурентами является энергонезависимость, простота модернизации системы, за счет применения интеллектуальных датчиков. Анализируя экономические критерии можно заметить, что предложенное решение уступает в цене, послепродажном обслуживании и затрат на обслуживание, так как существует вероятность введения санкций от зарубежных компаний, а также при выходе из

строю такого датчика большая вероятность, что придется заказывать новый аналогичный датчик.

В ходе SWOT-анализа выявлены основные угрозы и возможности проекта, а также обозначены его сильные и слабые стороны.

При планировании научно-исследовательских работ была определена структура работ в рамках научного исследования, по результату чего можно говорить о том, что большинство работы было сделано самостоятельно, однако потребовалась помощь руководителя и консультанта на начальном и конечном этапе. Также разработан график проведения научного исследования в виде диаграммы Ганта.

В процессе расчёта бюджета НИИ было выявлено затраты на заработные платы руководителя и инженера. Также в общем бюджет, требуемый для проведения научно-технического исследования, составил 240689,81 рублей. Полученный результат не является до конца точным, поскольку неизвестны материальные затраты, которые понесли руководитель и консультант. При оценке эффективности исследования было выявлено, что разработанный проект автоматизации управления линейным участком магистрального газопровода достаточно эффективен среди конкурентов. Разработанный проект превосходит свои конкурентов по интегральному показателю ресурсоэффективности разработки и интегральному показателю эффективности. Если рассматривать интегральный финансовый показатель разработки, то предлагаемая разработка позволяет произвести удешевление стоимости разработки, однако наилучший показатель у конкурента №2 компании «Бинар».

## **12 Социальная ответственность**

Согласно ГОСТ Р ИСО 26000-2012, социальная ответственность – ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров.

В данном разделе рассматривается повышение надежности с точки зрения безопасности жизнедеятельности в соответствии с трудовым законодательством.

Сейчас основной задачей ЛПУМГ является увеличение уровня безопасности функционирования объектов и сооружений магистрального газопровода путем соблюдения производственных и экологических требований и правил. Применение беспроводных решений позволит ускорить реакцию оператора на возникновение внештатных ситуаций, тем самым оператор более оперативно и правильно принимает решения и не допускает аварий на производстве, а при их возникновении позволит снизить риск человеческих жертв.

Потенциальными потребителями результатов исследования являются предприятия, занимающиеся внедрением автоматизированных систем управления в газотранспортной отрасли в частности «Газпром».

Местом рабочей зоны является крановая площадка размером 10x10 м. Процессы, осуществляющиеся в рабочей зоне, являются контроль и управление технологическим процессом и оборудованием линейной части магистрального газопроводов дистанционно или при обходе согласно графику предварительно-плановых работ. На территории рабочей зоны располагаются кран с пневмогидроприводом и сопутствующие беспроводные КИПиА в количестве трёх штук (датчик температуры и два датчика давления).



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

Компании, связанные с транспортировкой газовых сред по магистральным трубопроводам, обязаны предоставлять своим работникам все материальные и социальные льготы в соответствии с «Трудовым кодексом Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ».

В соответствии со статьей «Право работника на труд в условиях, отвечающих требованиям охраны труда» работник имеет право на: рабочее место, своевременную оплату, получение достоверной информации от работодателя об условиях и охране труда, отказ от выполнения работ в случае опасности для жизни, обеспечение средствами индивидуальной защиты, обучение за счет работодателя, медицинский осмотр.

Большая часть магистральных газопроводов расположена в северной части страны. Сотрудники, работающие в районах Крайнего Севера, имеют дополнительные льготы в соответствии с законом РФ от 19.02.1993 № 4520-1 «О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях».

## **12.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны**

Основными элементами рассматриваемого рабочего места разработчика являются: рабочий стол, рабочий стул (кресло), ПК.

Требования по компоновке рабочей зоны при выполнении работ сидя устанавливают стандарты ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие требования», ГОСТ 21889-76 «Система человек-машина. Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования», ГОСТ 22269-76 «Система человек-машина. Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего стола». Согласно данным стандартам выделим основные моменты, касающиеся конструкции рабочего места и кресла человека-оператора:

- рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и методических указаний по безопасности труда;

- взаимное расположение элементов рабочего места должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы;

- взаимное расположение элементов рабочего стола должно способствовать оптимальному режиму труда и отдыха, снижению утомления оператора, предупреждению появлению ошибочных действий;

- кресло должно обеспечивать человеку-оператору соответствующую характеру и условиям труда физиологически рациональную рабочую позу и ее длительное поддержание в процессе трудовой деятельности;

- конструкция кресла не должна затруднять рабочих движений.

Также, согласно ГОСТ Р ИСО «Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 1. Взаимодействие с человеком» при разработке проектного решения следует учитывать то, что интерфейс человек-машина должен быть информативным, тем самым оператор может легко понимать основной процесс.

### **12.3 Производственная безопасность**

В соответствии с СТО СТГ-01.16-61.0-2007 «Объекты МГ относятся к опасным производственным объектам и зонам повышенного риска, в связи с тем, что:

- используются в технологических процессах, хранятся, транспортируются воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, токсичные вещества;

- используется оборудование, работающее под давлением более 0,07 МПа;

- используется оборудование, работающее при температуре нагрева воды более 115 °С;
- используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы и др.»

С точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, возникающие при транспортировке природного газа.

Анализ потенциально возможных вредных и опасных производственных факторов был выполнен в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Рассмотрим основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ по транспортировке природного газа, представленные в таблице 22.

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на линейном участке магистрального газопровода

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны	СТО Газпром 2-3.5-454-2010. Правила эксплуатации магистральных газопроводов.
Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82* ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
Повышенный уровень и другими неблагоприятными характеристиками шума	СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
Повышенный уровень общей вибрации	ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ Вибрационная безопасность. Общие требования.
Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе рабочей зоны	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. СТО Газпром 2-3.5-454-2010. Правила эксплуатации магистральных газопроводов.

Для выполнения работ, представленных в таблице 22, требуется повышенные меры безопасности, ознакомление сотрудников с поставленными

задачами и способами безопасных методов выполнения данных работ. Рассмотрим подробнее каждый из приведенных в таблице 22 факторов, возникающих при выполнении работ по техническому и технологическому повышению надежности магистральных газопроводов.

### **12.3.1 Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны**

Источником возникновения может служить стравливание газа через шток крана. При воздействии данного фактора у рабочего может возникнуть удушье или даже при повышенном объеме одоранта в воздухе на территории крановой площадки может привести к гибели рабочего.

Согласно СТО Газпром 2-3.5-454-2010 контроль воздушной среды должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях посредством газоанализатора или рудничной лампы. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимая концентрация пыли, как вещества умеренно опасного, в воздухе рабочей зоны составляет 1,1-10 мг/м<sup>3</sup>, для природного газа ПДК равно 300 мг/м<sup>3</sup> [26, 31].

Согласно [27], ПДК транспортируемых газов, вредных примесей и некоторых применяемых веществ:

- метан по санитарным нормам относится к 4-му классу опасности (малоопасные вредные вещества со значением ПДК в пересчете на углерод) – 300 мг/м<sup>3</sup>;
- в качестве одорантов в основном применяют меркаптаны, в частности этилмеркаптан (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>SH), которые относятся ко 2-му классу опасности (вещества высокоопасные). ПДК в воздухе рабочей зоны по санитарным нормам 1 мг/м<sup>3</sup>;
- ПДК сероводорода в присутствии углеродов (C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub>) – 3 мг/м<sup>3</sup> (2-ой класс опасности);
- ПДК сернистого газа (SO<sub>2</sub>) в воздухе рабочей зоны 10 мг/м<sup>3</sup> (3 класс
- умеренно опасные вредные вещества);

- ПДК метанола (СН<sub>3</sub>ОН) в воздухе рабочей зоны (по санитарным нормам) – 5 мг/м<sup>3</sup>.

При работе в местах, где концентрация вредных веществ в воздухе может превышать ПДК, работников должны обеспечивать соответствующими противогазами.

### 12.3.2 Электрический ток

Источником поражения током является: электрические провода, вспомогательное оборудование работающие от электричества. К травмам возникающие при воздействии данного фактора относят электрические ожоги, механические повреждения, электрический шок.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82\* ССБТ напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 23.

Таблица 23 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	U, В	I, mA
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Безопасность при работе обеспечивается применением различных технических и организационных мер:

- установка оградительных устройств;
- изоляция токопроводящих частей и её непрерывный контроль;
- защитное заземление, использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов (СНиП 12.1.030-81);
- применение катодной и протекторной защит.

Все металлические корпуса сварочных аппаратов должны быть надежно заземлены. Электрическая проводка должна обязательно иметь неповрежденную изоляцию. Розетки и вилки должны быть исправными.

### 12.3.3 Повышенный уровень и другими неблагоприятными характеристиками шума

На крановых площадках вблизи ГЩУ работают механизмы, которые могут создавать повышенный шум на рабочем месте. Производственный шум с течением времени может привести к частичной потере слуха у рабочего.

В таблице 24 приведены предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления согласно СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [27].

Таблица 24 – Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные скорректированные по А уровни звука в помещениях производственных, жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки

Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Для источников постоянного шума									Для источников непостоянного шума		
		Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, скорректированный по А, $L_A$ , дБ	Эквивалентный скорректированный по А уровень звука $L_{Aэкв}$ , дБ	Максимальный скорректированный по А уровень звука $L_{Amax}$ , дБ
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
I Предельно допустимые октавные уровни звукового давления, дБ; уровни звука, скорректированные по А, дБ; эквивалентные и максимальные уровни звука, скорректированные по А, дБ, на рабочих местах в производственных и вспомогательных зданиях, на площадках промышленных предприятий для основных видов трудовой деятельности													
2 Рабочие помещения диспетчерских служб, кабины наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, участки точной сборки, телефонные и телеграфные станции	-	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70	70	85

К коллективным средствам и методам защиты от шума относятся:

- использование средств звукоизоляции (звукоизолирующие кожухи);
- использование средств звукопоглощения.

Также необходимо использовать рациональные режимы труда и отдыха работников.

Шум на крановых площадках вблизи ГЩУ, создаваемый системами управления цеха, не превышает нормативные уровни шума. Сменный персонал может находиться на крановых площадках в течение всей рабочей смены без СИЗ органов слуха [25].

#### **12.3.4 Повышенный уровень общей вибрации**

Источником, как и при вышеописанном факторе, а именно повышенном значении шума, являются газ, проходящий через газопровод, который может вызывать небольшие колебания, а также вблизи ГЩУ возникают вибрации от генераторов. При воздействии данного фактора может развиваться вибрационная болезнь.

Для ГЩУ соответствует технологическая вибрация, воздействующая на оператора на рабочих местах стационарных машин или передающиеся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. В здании ГТУ используются машины второго типа вибрации.

Согласно ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ предельно допустимые значения виброопасной машины при любых режимах работы и любых условиях ее нормального применения максимальное полное среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения не превышает 0,5 м/с<sup>2</sup> – для локальной и 0,1 м/с<sup>2</sup> – для общей вибрации.

Используемые средства и методы защиты от вибрации - здание ГЩУ находится отдельно и не связано со зданиями ГТУ. Значения уставки, определяющие предупреждающий и аварийный сигнал уровня вибрации, выводятся на ГЩУ с помощью программных средств. Абсолютные значения

уставок уменьшаются с увеличением срока службы агрегата, так как ухудшается техническое состояние агрегата и вспомогательного оборудования. Для обеспечения вибробезопасных условий труда при сборке и монтаже агрегата выполняется: центровка и балансировка роторов.

### **12.3.5 Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе, рабочей зоны**

Для комфортного осуществления трудовой деятельности должны поддерживаться оптимальные параметры микроклимата, исходя из требований ГОСТ 12.1.005-88. Категория работ на открытой территории согласно этому стандарту – Пб (Работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением).

К наиболее типичным профессиональным заболеваниям, которые работник может получить в результате воздействия фактора относят риниты, бронхиты, пневмонии, ангины и др. Холод является фактором, усугубляющим течение и вызывающим обострение не только хронических легочных заболеваний, но и сосудистых, эндокринных, периферической нервной системы, мышц, суставов, почек и др.

Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцированно для постоянных и непостоянных рабочих мест. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, указанным в таблице 25.



Таблица 25 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне

Период года	Категория работ	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		оптимальная	допустимая				оптимальная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	оптимальная, не более	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных*
			верхняя граница		нижняя граница					
			на рабочих местах							
постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных							
Холодный	Средней тяжести - IIБ	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	Не более 0,4
Теплый	Средней тяжести - IIБ	20-22	27	29	16	15	40-60	70 (при 25°С)	0,3	0,2-0,5

Согласно СТО Газпром 2-3.5-454-2010 работающие на открытом воздухе должны быть обеспечены в зимнее время спецодеждой и спецобувью с повышенным суммарным тепловым сопротивлением, а также защитными масками для лица. При работах, связанных с ограничением движения, следует применять спецодежду и спецобувь со специальными видами обогрева [24].

Работники должны быть обучены мерам защиты от обморожения и оказанию доврачебной помощи.

## 12.4 Экологическая безопасность

### 12.4.1 Защита атмосферы

На основании СТО Газпром 060-2009 «Классификатор источников выбросов загрязняющих веществ дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром»» [29], нормативы загрязняющих веществ в атмосферном воздухе установлены в виде максимальных разовых и среднесуточных предельно допустимых концентраций с указанием класса опасности по лимитирующим показателям вредности в соответствии с санитарными правилами и нормами

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Таблица 26 – Классификация вредных веществ, поступающих в атмосферу

Наименование в-ва	Норматив в-ва – концентрация, мг/м <sup>3</sup>					
	Населенные мест			Рабочей зоны		
	м.р.	ср.сут	Класс опасности	м.р.	ср.сут	Класс опасности
Метан	50	-	-	7000	-	4
Диоксид азота (IV)	0,2	0,04	3	2	-	3
Оксид азота (II)	0,4	0,06	3	5	-	3

Согласно таблице 26, классы опасности веществ, для которых установлены только максимальные разовые ПДК, определены с учетом опасности развития рефлекторных реакций. Классы опасности веществ, для которых одновременно установлены максимально разовая и среднесуточная ПДК, определены с учетом опасности развития тех эффектов, развитие которых при действии конкретного вещества наиболее опасно.

При разрыве газопровода происходят выбросы газа в атмосферу. Существуют меры по устранению и уменьшению влияния последствия на атмосферу. При ЧС происходит перекрытие аварийного участка и для уменьшения выбросов газа в атмосферу, газ через свечной кран попадает в емкость резервирования газа или в хранилище газа, если оно установлено на расстоянии не более чем 100 км.

#### 12.4.2 Защита литосферы

Согласно [34], охрана земли – одно из приоритетных направлений деятельности ПАО «Газпром» в области экологии. Ведь именно земля становится главным объектом воздействия при добыче, транспортировке и переработке углеводородов.

Применение беспроводных технологий, представленных в данной работе, позволяет избежать большого количества бытовых отходов при строительномонтажных работах, а также уменьшить их при пуско-наладочных работах.

## 12.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации на магистральном газопроводе могут возникнуть по различным причинам, например:

- разрывы газопровода;
- разгерметизация газопровода;
- пожары;
- утечки газа;

Наиболее распространенным случаем является утечка газа по штоку крана через колонну, это может привести к пожару на крановой площадке.

Согласно СТО Газпром ликвидация аварий на газопроводе начинается с отключения его поврежденного участка и перекрытия газопровода запорными устройствами (замками, задвижками). При разрывах труб газопровода концы их заделывают деревянными пробками, обмазывают глиной или обматывают листовой резиной, трещины на трубах заваривают или заделывают, устанавливая муфты. При воспламенении газа его давление в газопроводе снижают, после чего пламя гасят песком, землей, глиной, набрасывают на газопровод мокрый брезент, а затем засыпают землей и поливают водой.

По степени пожарной опасности в СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности», анализируемое в данной работе рабочее место относится к категории АН (установка относится к категории АН, если в ней присутствуют (транспортируются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С, вещества и (или) материалы, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и (или) друг с другом).

Одним из наиболее эффективных способов тушения пожара является введение газовых средств тушения в магистраль, по которой поступает горючий

газ. Одновременно с тушением пожара на газопроводе необходимо осуществлять его охлаждение.

При разрушении газопровода работники обязаны обеспечить все необходимые мероприятия для снижения последствий аварии. В перечень мероприятий входит:

- анализ аварии и ее опасности;
- если необходимо, то провести эвакуацию населения и техники вблизи аварии;
- провести мероприятия по устранению аварии (термостабилизация грунта);
- рекультивация земель в районе аварии.

Согласно ФЗ РФ №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 класс возможного пожара – Е (пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением). Для данного класса пожара первичными средствами пожаротушения будут являться углекислотные и порошковые огнетушители, а также термостойкое противопожарное полотно.

### **Выводы по разделу «Социальная ответственность»**

В разделе, посвященном социальной ответственности был произведен анализ вредных и опасных факторов на магистральном газопроводе, в соответствии с категорией тяжести работы Пб (средней тяжести), а также приведены оптимальные и допустимые значения параметров и предложены средства индивидуальной и коллективной защиты.

Категория по электробезопасности согласно ПУЭ относится к классу – территория открытых электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям, то есть характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих

особую опасность. Согласно «Правил по охране труда при эксплуатации» группа персонала по электробезопасности – II.

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуации является утечка газа по штоку крана через колонну, это может привести к пожару на крановой площадке. Были приведены меры и мероприятия по локализации чрезвычайной ситуации. В соответствии с СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности», анализируемое в данной работе рабочее место относится к категории – АН

Также, было рассмотрено воздействие вредных факторов на окружающую среду, затронуты вопросы защиты атмосферы, литосферы, приводится список природоохранных мероприятий, обеспечивающих экологическую безопасность при производственном процессе. ПАО Газпром принимает множество мер защиты окружающей среды. Объектом, оказывающем значительное негативное влияние на окружающую среду согласно Постановлению Правительства РФ от 31.12.2020 №2398 «Критериям отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду» является транспортирование по трубопроводам газа, продуктов переработки газа, нефти и нефтепродуктов с использованием магистральных трубопроводов и относится к категории влияния – II.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен анализ перспективных технологических направлений в области автоматизации (интеллектуализации) технологических процессов газотранспортной системы. В качестве перспективного направления применения на линейных участках магистрального газопровода, в частности на крановых площадках, была выбрана технология, позволяющая передавать информацию через беспроводные каналы связи, использующая для этого автономные сенсорные датчики, ретрансляторы и шлюзы связи.

В данной области была проведена сравнительная характеристика автономных беспроводных датчиков от различных компаний. В ходе исследования решений, выбор был сделан в пользу компании «Emerson». Решения данной компании соответствуют нормам Р «Газпром», а также имеют широкий спектр применения в области автоматизации. По характеристикам представленные датчики компании «Emerson» являются одними из лучших из сравниваемых в данной работе.

С целью выявления соответствия, разрабатываемой системы, нормам «Газпром» были дополнительно проведены расчеты погрешности метрологического канала и расчеты показателей надежности автоматизированной системы. В результате проектируемая система удовлетворяет заданным требованиям, изложенным во ВТТ к СЛТМ принятым в Газпром.

Для обеспечения усовершенствованного управления технологическим процессом линейными участками магистрального газопровода были разработаны алгоритмы автоматизированного управления крановыми площадками, где нашли применение беспроводные интеллектуальные решения. Использование проводных датчиков в данных алгоритмах управления имеют множество недостатков, которые могут привести к их сбоям в работе. Также были разработаны экранные формы, которые позволяют своевременно

реагировать на отклонения и сигнализации технологического процесса для осуществления безопасной эксплуатации газотранспортной системы в целом.

В ходе написания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были оценены экономические аспекты разработки исследуемой автоматизированной системы управления линейным участком магистрального газопровода. По результатам оценки эффективности исследования было выявлено, что разработанный проект автоматизации управления линейным участком магистрального газопровода достаточно эффективен среди конкурентов.

В разделе, посвященном социальной ответственности, рассматривалось повышение надежности магистрального газопровода с точки зрения безопасности жизнедеятельности в соответствии с трудовым законодательством. В результате работы был произведен анализ вредных и опасных факторов на магистральном газопроводе, в соответствии с категорией тяжести работы Пб (средней тяжести), а также приведены оптимальные и допустимые значения параметров и предложены средства индивидуальной и коллективной защиты. Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является утечка газа по штоку крана через колонну, это может привести к пожару на крановой площадке. Были приведены меры и мероприятия по локализации чрезвычайной ситуации. Разработанная система соответствует правилам и нормам принятыми в «Газпром».

Согласно экспертной оценки специалистов внедрение беспроводной технологии на линейные участки магистрального газопровода снизит время их подключения и запуска в работу на 10%.

## Список используемой литературы

1. Томсктрансгаз// Томск от А до Я: Краткая энциклопедия города/ Под ред. д-ра ист. наук Н. М. Дмитриенко — 1-е изд. — Томск: Изд-во НТЛ, 2004. — С. 375-376. — 440 с. — 3000 экз. — ISBN 5-89503-211-7.
2. Приложение к журналу E&P Magazine. Интеллектуальные полевые устройства. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/brochure-intelligent-fields-rus-ru-ru-41280.pdf>, свободный.
3. Временное техническое требование к системам линейной телемеханики. Р Газпром [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.studmed.ru/r-gazprom-vremennyye-tehnicheskie-trebovaniya-k-sistemam-lineynoy-telemehaniki\\_25336e55bfa.html](https://www.studmed.ru/r-gazprom-vremennyye-tehnicheskie-trebovaniya-k-sistemam-lineynoy-telemehaniki_25336e55bfa.html), свободный.
4. Линейная часть магистрального газопровода [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://infopedia.su/23x7223.html>, свободный.
5. Беспроводной дистанционный (wifi) датчик температуры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tomsk.videogsm.ru/besprovodnoj%20wifi-datchik-temperaturey.php>, свободный.
6. Беспроводный газовый датчик с автономным питанием [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://poleznayamodel.ru/model/9/95849.html>, свободный.
7. Учебное пособие. Е.И. Громаков, А.А. Сидорова Современные технологии. Киберфизические системы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SIDOROVA/Yheba/Tab8/Современные%20%технологии.pdf>, свободный.
8. Система удаленного мониторинга и управления сетями теплоснабжения на базе сенсорных сетей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-udalennogo-monitoringa-i-upravleniya-setyami-teplosnabzheniya-na-baze-sensornyh-setey/viewer>, свободный.



9. Нулевое энергопотребление источника питания в режиме ожидания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nulevoe-energopotreblenie-istochnika-pitaniya-v-rezhime-ozhidaniya/viewer>, свободный.

10. Levis P., Madden S., Polastre J. and dr. «TinyOS: An operating system for wireless sensor networks» // W. Weber, J.M. Rabaey, E. Aarts (Eds.) // In Ambient Intelligence. — New York, NY: Springer-Verlag, 2005. — 374 p.

11. Honeywell. Обзор решений КИПиА. Измерительные преобразователи. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.honeywellprocess.com/en-US/online\\_campaigns/EUCyberSecuritySummit/Documents/2018-presentation/9.PMCSolutions\\_Stefanenko.pdf](https://www.honeywellprocess.com/en-US/online_campaigns/EUCyberSecuritySummit/Documents/2018-presentation/9.PMCSolutions_Stefanenko.pdf), свободный.

12. Методы снижения потребляемой мощности в беспроводных системах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://russianelectronics.ru/metody-snizheniya-potreblyaemoj-moshhnosti-v-besprovodnyh-sistemah-chast-1-2/>, свободный.

13. Надежные датчики для арктических морозов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://poltraf.ru/publications/davlenie/nadezhnye\\_datchiki\\_davleniya\\_dlya\\_a/](https://poltraf.ru/publications/davlenie/nadezhnye_datchiki_davleniya_dlya_a/), свободный.

14. Решения по автоматизации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru>, свободный.

15. Бинар [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.binar.ru/>, свободный.

16. Honeywell Россия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.honeywell.ru/>, свободный.

17. Модули температуры измерительные сенсорные ВН1225.700 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://all-pribors.ru/opisanie/39664-08-vn1225-700-41242>, свободный.

18. Беспроводной измерительный преобразователь температуры Rosemount 648 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/rosemount-sku-648-wireless-temperature-transmitter-ru->

[ru?fetchFacets=true#facet:&partsFacet:&facetLimit:&productBeginIndex:0&partsBeginIndex:0&orderBy:&partsOrderBy:&pageView:list&minPrice:&maxPrice:&pageSize:&](http://ru?fetchFacets=true#facet:&partsFacet:&facetLimit:&productBeginIndex:0&partsBeginIndex:0&orderBy:&partsOrderBy:&pageView:list&minPrice:&maxPrice:&pageSize:&) ,свободный.

19. ПЛК323 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://owen.ru/product/plk323>, свободный.

20. РМГ 62-2003 Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации [Электронный ресурс] режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200037652>, свободный.

21. Интенсивность отказов элементов. Справочник [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://areliability.com/intensivnost-otkazov-elementov-spravochnik/>, свободный.

22. Громаков Е. И., Проектирование автоматизированных систем. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. – Томск, 2009. – 156 с.

23. Беспроводная нефтедобыча. Опыт СНГ: Информатизация и Системы Управления в Промышленности: научный журнал. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://isup.ru/articles/3/7309//>, свободный

24. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071>, свободный

25. ГОСТ 12.1.003–2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>, свободный

26. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>, свободный.

27. Правила безопасности при эксплуатации магистральных газопроводов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003166>, свободный.

28. ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901702428>, свободный.

29. СТО Газпром 060-2009. Классификатор источников выбросов загрязняющих веществ дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://samara-tr.gazprom.ru/d/textpage/8e/142/sto-gazprom-060-2009-klassifikator-istchnikov-vybrosov-zagryazny.pdf>, свободный.

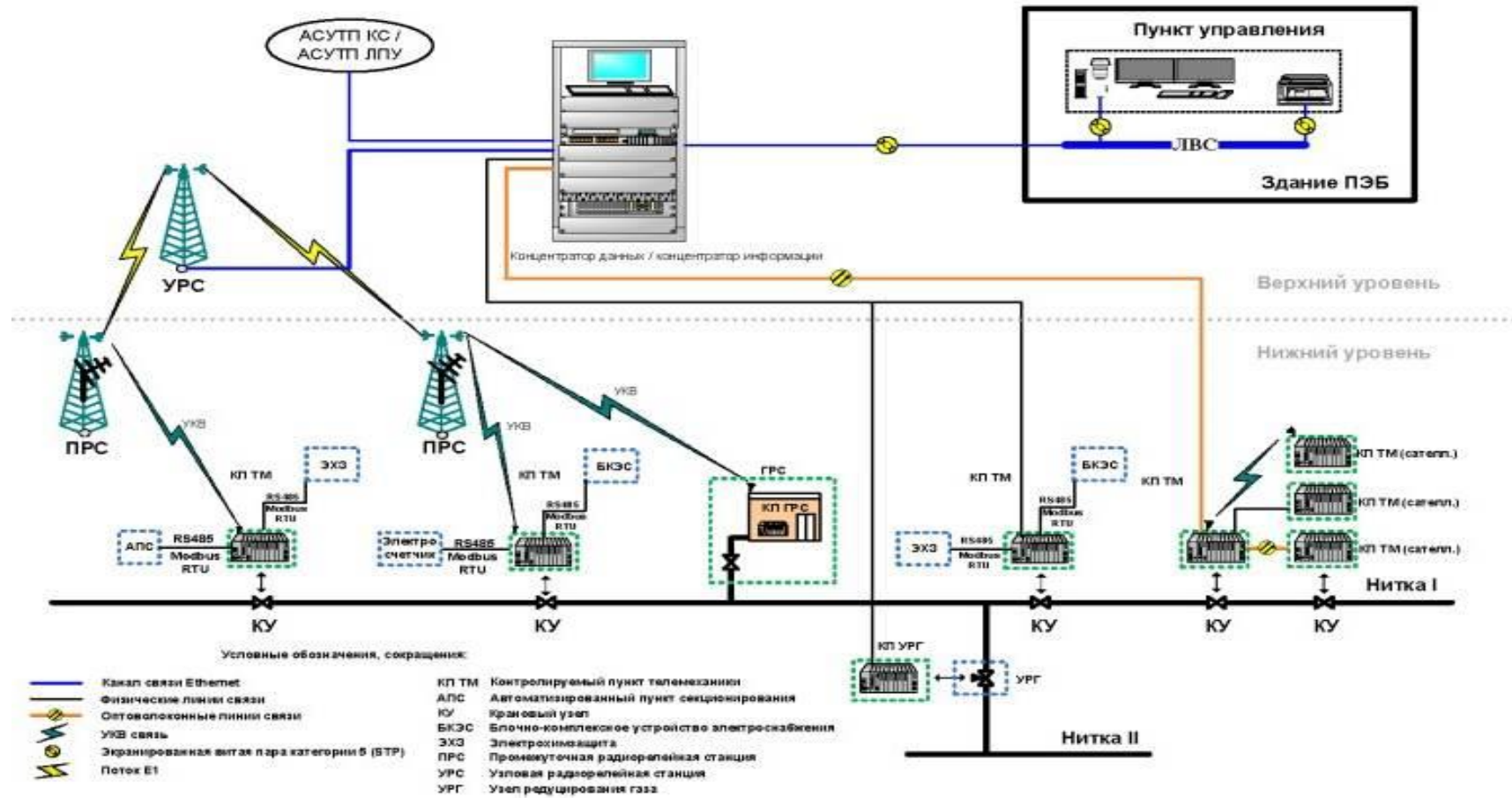
30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901859404>, свободный.

31. СТО Газпром 2-3.5-454-2010. Правила эксплуатации магистральных газопроводов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/53/53416/>, свободный.

# Приложение А

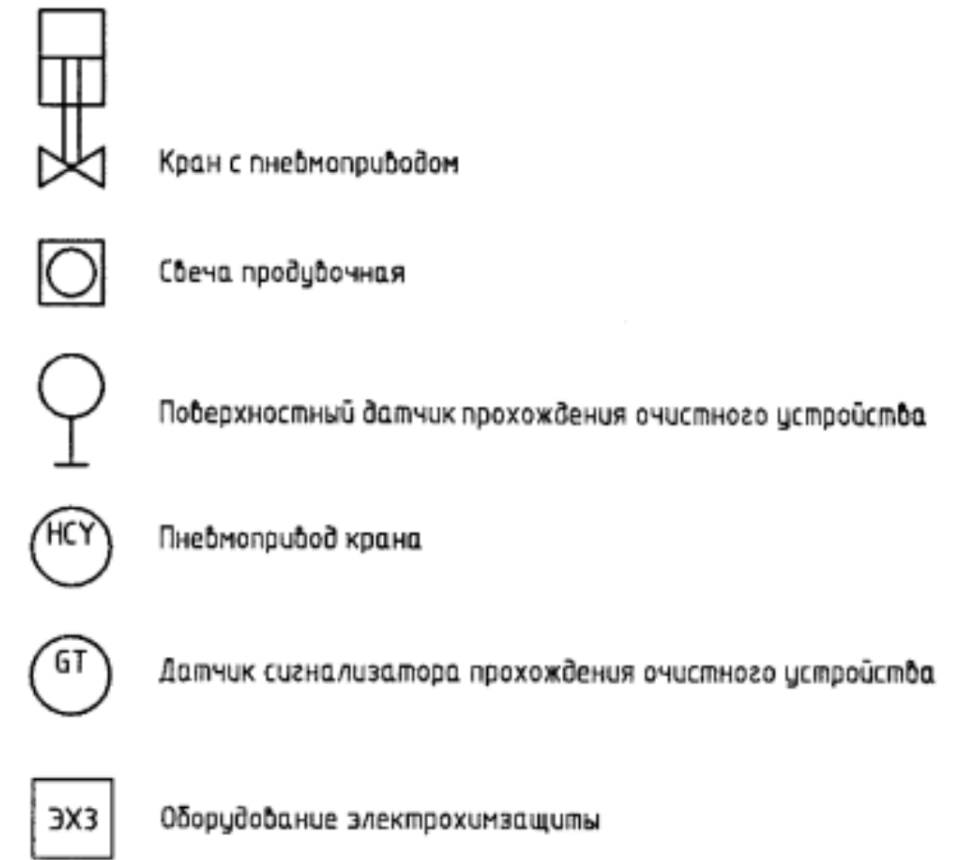
(обязательное)

## Типовая структура систем линейной телемеханики



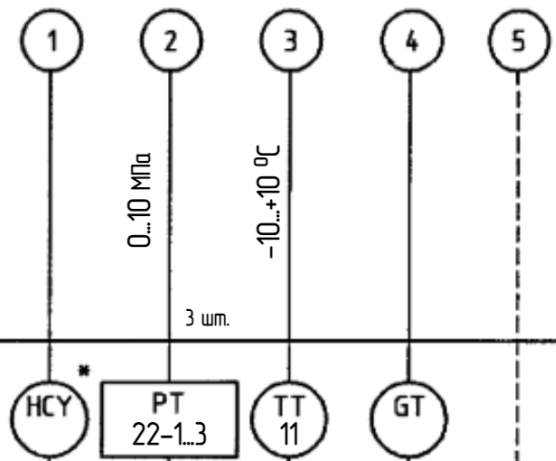
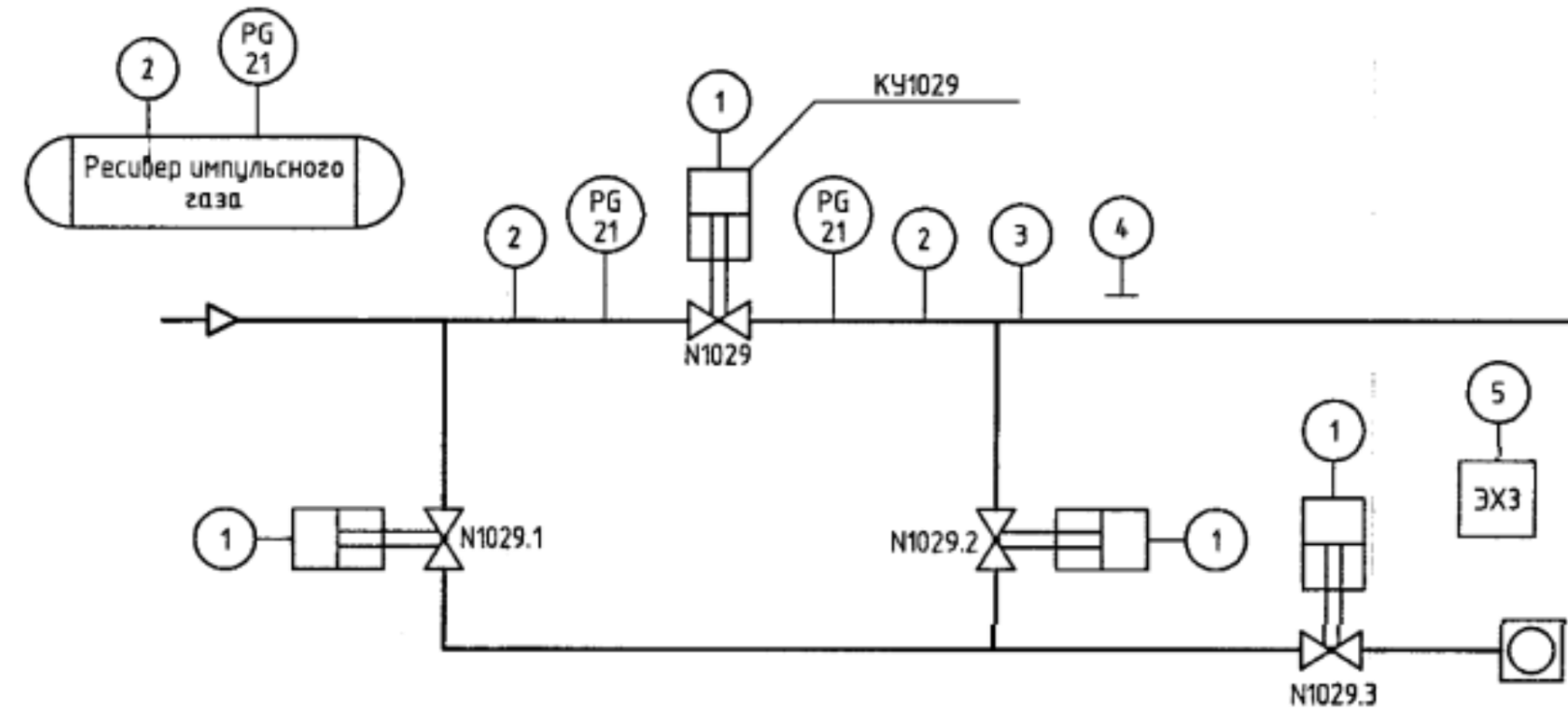
ФЮРА.4.20609.001.ЭС.01

Условные обозначения



Условные сокращения

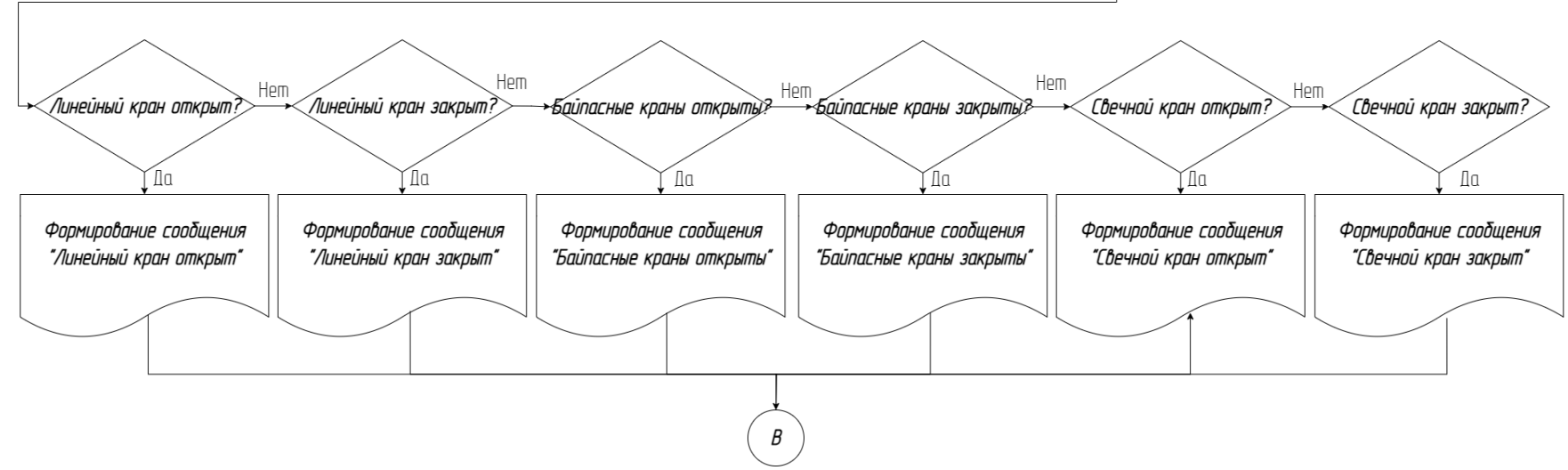
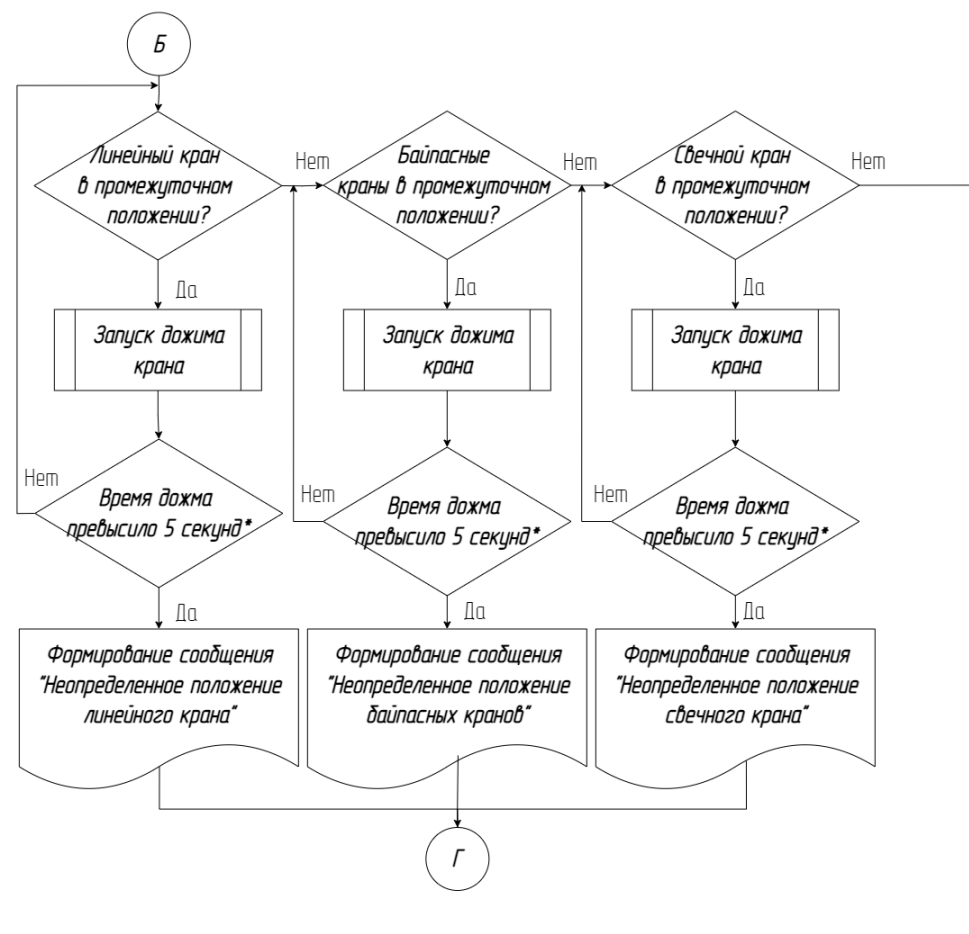
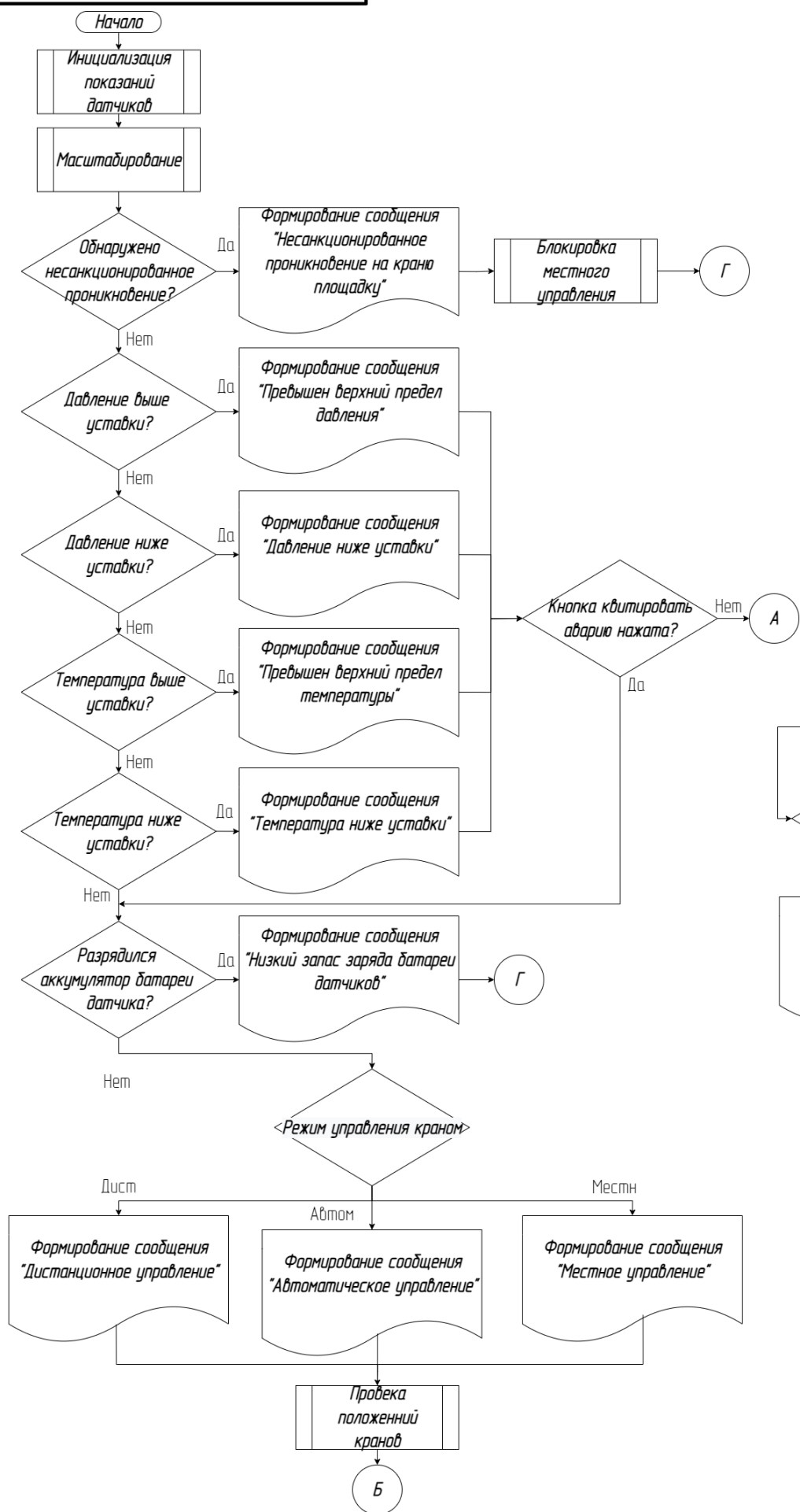
КП – контролируемый пункт,  
ЭХЗ – электрохимзащита



Приборы местные		1	2	3	4	5
		HCU	PT 22-1.3	TT 11	GT	
БКЭС	КП1029	ТИ				
		ТС				
		ТУ				

ФЮРА.4.20609.001.ЭС.01				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Куцук Т.В.			
Пров.	Грамаков Е.И.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				
Приложение Б Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013				Лит. у
				Масса
				Масштаб
			Лист	Листов 1
ТПУ ИШИТР Группа 8Т8А				

ФЮРА.4.20609.001.ЭС.02



				<b>ФЮРА.4.20609.001.ЭС.02</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Куцюк Т.В.			У		
Проб.		Громаков Е.И.			Лист 1	Листов 2	
Т.контр.					<b>ТПУ ИШИТР</b>		
Н.контр.					<b>Группа 8Т8А</b>		
Утв.					Копировал Формат А3		





