

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 – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Применение беспроводной технологии автоматизированного управления газораспределительной системы

УДК 681.51:622.691.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Васин Никита Николаевич		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко Михаил Владимирович	к.т.н.		

По разделу на иностранном языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Пичугова Инна Леонидовна	–		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Ефимов Семен Викторович	к.т.н.		

## Результаты обучения по ООП

Код рез-та	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации автоматизированных систем, устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем управления технологическим процессом и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

	Выводы.	
P6	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах и знать области их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК- 9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные</i>		
P7	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-8, ПК-15, ПК-16, ПК-18, ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-8, ОК-9), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEAN</i>
P10	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

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 (специальность) – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Уровень образования – магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения – весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

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

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

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

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Ефимов Семен Викторович	к.т.н.		

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 (специальность) – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Ефимов С.В.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ81	Васину Никите Николаевичу

Тема работы:

Применение беспроводной технологии автоматизированного управления газораспределительной системы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020 № 59-41/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Совершенствование автоматизации транспорта и распределения газа приводит к уменьшению его потерь, снижению себестоимости самого процесса распределения, уменьшению количества персонала, необходимого для обслуживания системы. В магистерской диссертации разрабатывается и исследуется концептуальное решение беспроводной технологии автоматизированного управления ГРС Томского ЛПУМГ. Целью работы является исследование усовершенствованного управления транспортом газа потребителю. Ожидается, что за счет применения автоматизированного управления с использованием автономных КИП повысится эффективность ГРС.
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор перспективных технологических направлений в области автоматизации технологических процессов транспорта газа.</li> <li>2. Обзор, сравнение и выбор беспроводных автономных датчиков.</li> <li>3. Разработка и создание блок-схемы алгоритма пуска ГРС.</li> <li>4. Разработка и создание блок-схемы алгоритма аварийного останова ГРС со сравнением газа.</li> <li>5. Разработка структурной схемы.</li> <li>6. Разработка функциональной схемы автоматизации.</li> </ol>
---	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич, доцент ОСГН ШБИП, к.экон.н.
Социальная ответственность	Горбенко Михаил Владимирович, доцент ООД ШБИП, к.т.н.
Раздел на иностранном языке	Пичугова Инна Леонидовна, старший преподаватель ОИЯ ШБИП

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Описание технологического процесса.</li> <li>2. Разработка алгоритмов.</li> <li>3. Анализ полученных результатов.</li> <li>4. Заключение.</li> </ol>
--

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	26.02.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель ВКР:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н.		26.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Васин Никита Николаевич		26.02.2020

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ81	Васину Никите Николаевичу

Инженерная школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 «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	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	–
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Действующие ставки единого социального налога и НДС (см. МУ)

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Дать характеристику существующих и потенциальных потребителей (покупателей) результатов ВКР, ожидаемых масштабов их использования.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Разработать проект такого устава в случае, если для реализации результатов ВКР необходимо создание отдельной организации или отдельного структурного подразделения внутри существующей организации.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта.

**Перечень графического материала:**

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ - выполнить
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ – выполнить
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.экон.н.		26.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Васин Никита Николаевич		26.02.2020



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ81	Васину Никите Николаевичу

Инженерная школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

Применение беспроводной технологии автоматизированного управления газораспределительной системы	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	В магистерской диссертации представлены разработка и исследование концептуального решения беспроводной технологии автоматизированного управления газораспределительной станции Томского ЛПУМГ. Целью работы является разработка и исследование усовершенствованного управления транспортом газа потребителю. Объектом исследования является рабочее место оператора газораспределительной станции. Основной вид деятельности – обслуживание газораспределительной станции, наблюдение за параметрами технологического процесса, формирование управляющих команд посредством АРМ оператора, формирование отчетной документации.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Нормативные документы, устанавливающие правовые и организационные требования обеспечения безопасности: – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; – ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»; ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности»; – ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ выявленных вредных и опасных факторов;</li> <li>– обоснование мероприятий по снижению воздействия.</li> </ul>	<p>Повышенный уровень шума, микроклимат, превышение электромагнитных и ионизирующих излучений, возможное воздействие электрического тока, статическое электричество, взрывопожароопасные, токсические свойства сырья, готовой продукции и отходов производства.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Влияние на экологическую безопасность;</li> <li>– воздействие на литосферу и атмосферу;</li> <li>– утилизация бытовых отходов.</li> </ul>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b></p>	<p>Возможные чрезвычайные ситуации:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пожар;</li> <li>- взрыв;</li> <li>- разгерметизация газопровода.</li> </ul> <p>Формирование предупредительных мер по предотвращению чрезвычайных ситуаций, а также разработка способов ликвидации ее последствий.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко Михаил Владимирович	к.т.н.		26.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Васин Никита Николаевич		26.02.2020

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 136 страницах, содержит 22 рисунка, 31 таблицу и 45 источника литературы.

Ключевые слова: газораспределительная станция, автономные контрольно-измерительные приборы, АРМ оператора, алгоритм, функциональная схема, беспроводная сеть управления, самоорганизующаяся сеть.

Объектом исследования настоящей магистерской диссертации является существующая газораспределительная станция ГРС-4 Томской ПП Томского ЛПУМГ.

Целью выпускной работы является разработка и исследование усовершенствованного управления транспортом газа потребителю на основе автономных контрольно-измерительных приборов.

В настоящей работе разрабатывается и исследуется концептуальное решение беспроводной технологии автоматизированного управления ГРС Томского ЛПУМГ. Проведен обзор перспективных технологических направлений в области автоматизации технологических процессов транспортировки газа потребителю, выполнен анализ автономных датчиков различных мировых компаний, а также проведено сравнение их технологических параметров с существующими на ГРС контрольно-измерительными приборами. Выполнена разработка алгоритмов пуска и аварийного останова со сравнением газа газораспределительной станции. Разработана функциональная схема автоматизации, а также структурная схема.

Для выполнения работы использовались программные продукты *Microsoft Visio 2013* и *AutoCAD 2014*.

Магистерская диссертация выполнена в текстовом редакторе *Microsoft Word 2013* компании *Microsoft*.

## Оглавление

Введение.....	15
1 Обзор перспективных технологических направлений в области автоматизации (интеллектуализации) технологических процессов газодобычи и газопереработки.....	17
2 Обзор в области автономных сенсоров и самоорганизующихся сетей.....	25
2.1 Автономные датчики для беспроводных сенсорных сетей .....	25
2.2 Обзор и сравнение беспроводных датчиков на мировом рынке .....	28
2.3 Категории элементов для автономных сенсоров .....	35
2.4 Обзор применения беспроводной сенсорной сети на производстве.....	37
3 Сравнение технологических параметров беспроводных сенсоров.....	40
3.1 Беспроводные датчики « <i>Honeywell</i> ».....	40
3.2 Беспроводные датчики «БИНАР».....	44
3.3 Беспроводные датчики « <i>Emerson</i> ».....	47
3.4 Выбор беспроводных датчиков для применения на газораспределительной станции Томской ПП.....	52
3.5 Сравнение текущих датчиков с беспроводными аналогами.....	55
4 Описание технологического процесса .....	61
5 Разработка алгоритмов.....	66
5.1 Разработка алгоритма пуска ГРС .....	68
5.2 Разработка алгоритма аварийного останова ГРС со стравливанием газа ..	69
5.3 Описание тэгов .....	71
6 Анализ полученных результатов .....	77
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ....	80
7.1 Организация и планирование работ .....	80
7.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	84
7.2.1. Расчет затрат на материалы .....	84
7.2.2. Расчет заработной платы.....	84
7.2.3. Расчет затрат на социальный налог .....	85
7.2.4. Расчет затрат на электроэнергию .....	86

7.2.5. Расчет амортизационных расходов.....	87
7.2.6. Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных документов .....	87
7.2.7. Расчет прочих расходов .....	88
7.2.8. Расчет общей себестоимости разработки.....	88
7.2.9. Расчет прибыли .....	89
7.2.10. Расчет НДС .....	89
7.2.11. Цена разработки магистерской диссертации .....	89
7.3 Определение срока окупаемости инвестиций (PP – payback period) .....	89
7.4 Выводы по разделу.....	90
8 Социальная ответственность.....	91
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	91
8.2 Производственная безопасность.....	92
8.3 Эргономика и производственная эстетика.....	96
8.4 Мероприятия по выполнению норм естественного и искусственного освещения .....	98
8.5 Экологическая безопасность .....	100
8.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	101
8.7 Выводы по разделу .....	102
Заключение .....	104
Список используемой литературы .....	106
Приложение А (обязательное) Характеристики технологий на основе автономных сенсоров.....	112
Приложение Б (обязательное) Исходная функциональная схема ГРС .....	113
Приложение В (обязательное) Измененная функциональная схема ГРС.....	116
Приложение Г (обязательное) Алгоритм пуска ГРС.....	119
Приложение Д (обязательное) Алгоритм аварийного останова ГРС .....	121
Приложение Е (справочное) Раздел на английском языке .....	123

## Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие сокращения с соответствующими обозначениями:

АРМ – Автоматизированное рабочее место;

ГПЗ – Газоперекачивающий завод;

ГРС – Газораспределительная станция;

ГКРЧ – Государственная комиссия по радиочастотам;

КС – Компрессорная станция;

КИПиА – Контрольные измерительные приборы и автоматика;

ЛПУМГ – Линейное производственное управление магистральным газопроводом;

МГ – Магистральный газопровод;

НКС – Насосно-компрессорная станция;

ПО – Программное обеспечение;

ПП – Производственная площадка;

РЧ – Радиочастота.

## ВВЕДЕНИЕ

«Газпром трансгаз Томск» – является первым газотранспортным предприятием в Западной Сибири. Со становлением газовой отрасли в Сибири и на Дальнем Востоке неразрывно связано развитие предприятия. В 1977 году начинается история компании. В этом году было создано производственное объединение «Томсктрансгаз» приказом министра газовой промышленности СССР. Его задачей стала эксплуатация магистрального газопровода «Нижевартовский ГПЗ – Парабель – Кузбасс», который к этому времени был первым за Уралом. Протяжённость данного газопровода составила 1162 км. В ходе ударной стройки в разных климатических и географических зонах, включая обширную болотистую местность, была возведена магистраль. Данный газопровод и сегодня является одной из сложнейших и основных газотранспортных артерий страны. Газопровод обеспечивает рациональное использование добываемого на активно разрабатываемых нефтяных месторождениях Тюменской и Томской областей попутного нефтяного газа. Кроме того, он обеспечивает стабильные поставки энергоресурсов мощному угольно-металлургическому комплексу Кузбасса и химической промышленности Кемеровской и Томской области. ООО «Газпром трансгаз Томск» – стопроцентное дочернее предприятие ПАО «Газпром». Основным продуктом предприятия является товарный газ, транспортируемый потребителям. В сферу деятельности ООО «Газпром трансгаз Томск» входит эксплуатация более 11500 километров магистральных газопроводов (МГ), 10 компрессорных (КС) и одной насосно-компрессорной станции (НКС), 134 газораспределительных станций (ГРС).

Целью выпускной работы является разработка и исследование усовершенствованного управления транспортом газа потребителю на основе автономных контрольно-измерительных приборов.

Совершенствование автоматизации транспорта и распределения газа приводит к уменьшению его потерь, снижению себестоимости самого процесса распределения, уменьшению количества персонала, необходимого для обслуживания системы. В данной работе представлен анализ автономных контрольно-измерительных приборов различных мировых лидеров для создания беспроводной сети управления газораспределительной станцией Томской ПП Томского ЛПУМГ, а также разработаны алгоритмы пуска станции и ее автоматического останова со стравливанием газа в результате возникновения аварийной ситуации. Ожидается, что за счет применения автоматизированного управления с использованием беспроводных (автономных) контрольно-измерительных приборов и автоматики повысится эффективность ГРС.



## **1 Обзор перспективных технологических направлений в области автоматизации (интеллектуализации) технологических процессов газодобычи и газопереработки**

Внедрение современных информационно-коммуникационных технологий по всей цепочке производственного цикла является характерной чертой современного развития интеллектуальных и цифровых систем управлений транспортировкой, подготовкой и добычей углеводородов. Принятие решений уполномоченными базируется на результатах моделирования конкретных ситуаций или процессов на иерархических уровнях. При этом решения принимаются в интеллектуальном и цифровом информационном пространстве. Из любой точки мира у топ-менеджмента появляется возможность связываться с центром управления.

Помимо этого, имеется возможность от каждого составного элемента производственной цепочки добычи углеводородов находить наилучшие решения по максимизации капиталоотдачи в режиме реального времени. В рамках осуществления цифровизации и интеллектуализации нефтегазовой отрасли новыми технологиями построения систем автоматизации являются:

- цифровизация управления месторождениями в режиме реального времени на основе сенсорных сетей;
- интеллектуальные системы переработки, транспорта и добычи нефти и газа с использованием обработки больших данных;
- киберфизические системы добычи и транспортные системы нефти и газа [1].

Существующие сейчас системы управления технологическими процессами подготовки и транспорта газа хотя и отвечают требованиям безопасности, нормам технологических регламентов, однако, при этом они не совсем соответствуют запросам, касающимся повышения эффективности производства. Любая компания стремится завоевать лидерские позиции на

рынке. Используемые информационные технологии не соответствуют требованиям повышения эффективности производства. Производственные компании в наши дни желают не только получить безопасный технологический процесс, но и снизить экономические потери, эксплуатационные затраты, увеличить прибыль производства, повысить качество продукции и тем самым заслужить лидерскую позицию среди компаний-конкурентов.

В нефтегазовых производствах имеют место достаточно сложные случаи управления технологическим процессом. Объекты нефтегазовой отрасли – это сложные объекты с множеством входов и множеством выходов [2, 3]. Так, при контроле качества газа регулируются давление, температура, а величины, определяющие качество газа, его состав, в большинстве случаев, измеряются периодически в лаборатории в ручном режиме и, таким образом, не регулируются непосредственно.

Для повышения эффективности технологических и производственных процессов в газовой отрасли необходим целостный взгляд на процесс добычи и транспорта газа; учет всех связей регулируемых переменных в процессе; онлайн регулирование хозяйственно важных показателей качества, (даже если они не всегда непосредственно измеримы и только косвенно управляемы); управление комплексной динамикой процесса в случае продолжительных пауз измерений; управление неустойчивыми участками или процессами с не минимально фазовой характеристикой; динамическое противодействие возмущениям, возникающим с известной задержкой.

В этих и подобных случаях требуется автоматизация с дополнительными свойствами. Для решения таких задач используют усовершенствованные методы регулирования. Усовершенствованное управление технологическими процессами или *APC*-управление – это тот тип управления, который позволит повысить эффективность производства, но при этом повысить ее не за счет покупки нового технологического оборудования, а за счет изменения стратегии управления.

*APC* (усовершенствованное управление) позволяет улучшить технологический процесс, не за счет приобретения нового дорогостоящего технологического оборудования, а за счет рационализации системы управления процессом, что гораздо дешевле. Примером перспективного направления развития усовершенствованного управления технологическим процессом является управление с прогнозирующими моделями «*MPC*» («*Model Predictive Control*») [4].

Принцип работы *MPC* заключается в следующем: определяется учитываемая регулируемые величины, управляющие возмущения и воздействия динамическая модель объекта аналитическим или экспериментальным путем. Определяется оценочный параметр для задаваемого экономического или технологического критерия оптимизации, который в последующем используется регулятором для формирования управляющего воздействия. На каждом шаге (такте) периода опроса объекта управления *MPC* из технологического процесса получает текущие значения наблюдаемых возмущений и регулируемых величин и вводит их в динамическую модель объекта управления [5].

По этой модели *MPC*-алгоритм вычисляет значения ее выходных переменных, представляющих собой прогноз поведения объекта. Управляющие воздействия на определенное число тактов управления рассчитываются по заданному критерию и с соблюдением ограничений во встроенном модуле линейного или квадратичного программирования. Оптимизация повторяется в каждом периоде выборки с обновленной информацией от процесса. В соответствии с рассчитанным управляющим воздействием исполнительный механизм управляет регулируемым параметром так, чтобы достичь целевого значения. На следующем такте эти действия повторяются.

Недостаток автоматизации, ориентированной на процесс, заключается в том, что сложность управления предприятием в целом наталкивается на трудности в согласовании шкал времени процессов разных иерархических

уровней. Попытки формировать интегрированные системы управления, объединяющих *SCADA*, *MES* и *ERP* системы, наталкивается либо на проблемы растянутого промежутка времени их освоения на предприятии, что приводит к необходимости непрерывного обновления с последующим освоением информационных систем управления нового поколения, либо к непрерывному «заплаточному» связыванию отдельных информационных систем управления разных производителей, которые быстро обновляются в связи с развитием компьютерных технологий. Подход, ориентированный на актив, предполагает естественное выделение объектов управления, что значительно упрощает разработку схем управления ими. Промышленные предприятия создаются для управления системой промышленных активов, включающей производственные процессы и хозяйственную деятельность, с целью получения экономической ценности [6].

На полевом уровне управления технологические процессы состоят из физических активов в виде оборудования, именуемые далее основными операционными активами. Посредством выполнения заложенных процессов эти основные активы преобразуют исходное сырье и электроэнергию в готовую продукцию. Возникновение так называемого «облачного производства», т. е. создания бизнеса с помощью «облака» и дальнейшего управления им, стало важнейшим современным этапом развития «облачных технологий». При этом с помощью предприятий, включенных в «облачное производство», на выходе создаются реальные товары и услуги.

Впервые понятие «облачное производство» ввел Б. Ли в 2010 г. для обозначения основанной на существующих сетевых производственных технологиях современной системы производства. «Облачное производство» – это новая сетевая модель производства, которая при использовании Интернета и платформы услуги «облачного производства» обеспечивает пользователей настроенными на их потребности производственными услугами с помощью организации онлайн производственных ресурсов (называемых «ресурсным

облаком») [7]. Также это новая производственная парадигма, которая сочетает технологии (такие как «облачные вычисления», Интернет, виртуализацию и сервис ориентированные технологии) с передовыми производственными моделями, коммуникационными и информационными технологиями.

Данная парадигма нацелена на то, чтобы возможности и ресурсы производства интегрировались и оптимизировались в глобальном плане. «Облачное производство» – это новая междисциплинарная область. Она задействует такие технологии и концепции, как производственные сети, сетевое производство, гибкое производство, виртуальное производство, «Интернет вещей» и, собственно, облачные вычисления. Облачное производство отражает как модель «распределения целостных ресурсов», так и модель «единения распределенных ресурсов».

Новая концепция промышленного производства задает хороший вектор в развитии промышленности и информационных технологий и на несколько шагов опережает актуальные возможности этих отраслей.

Понятие «облачное производство» может иметь следующее определение – это модель удобного, повсеместного доступа к общему фонду переналаживаемых производственных ресурсов (производственные мощности, оборудование, программное обеспечение) в нужный момент времени и с возможностью быстрого получения готового продукта с минимальными затратами на менеджмент и с минимальным взаимодействием между клиентом и поставщиком.

В облачных технологиях управления различают (рисунок 1.1):

- *IaaS – Infrastructure as a Service* – инфраструктура как услуга, например, виртуальная сеть и виртуальные серверы; клиент может устанавливать любое приложение и программное обеспечение;
- *PaaS – Platform as a Service* – платформа как услуга, например, база данных или веб-сервер; приложениями управляет клиент, провайдер управляет операционной системой;

– *SaaS – Software as a Service* – программное обеспечение как услуга, например, электронная почта или иное офисное приложение; приложением пользуется клиент, провайдер управляет базовыми настройками приложения [8].

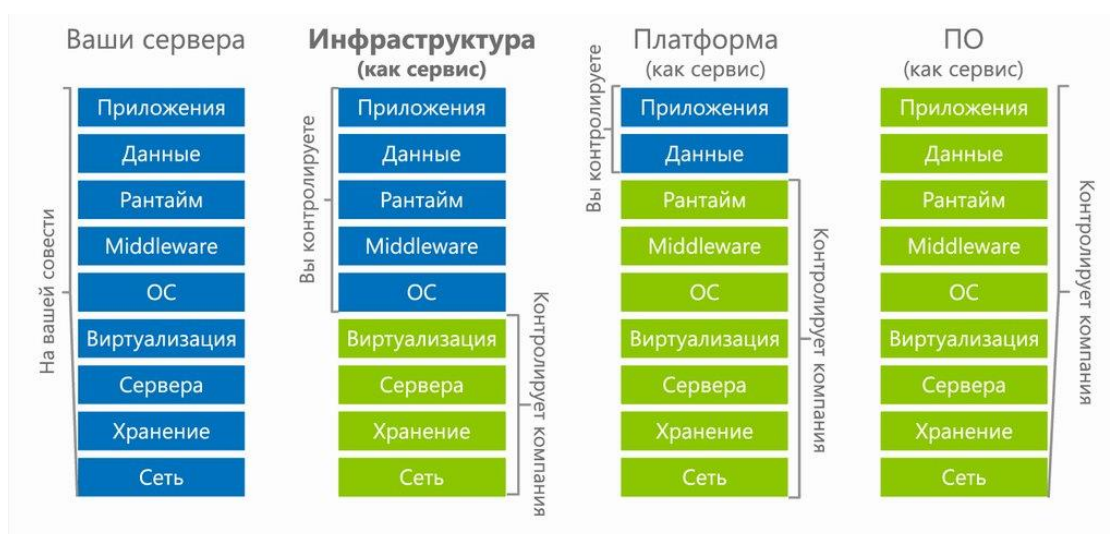


Рисунок 1.1 – Основные технологии облачных вычислений

Термином «внешнее облако» (*Public Cloud*) описывают облачные вычисления в их наиболее распространенном понимании, когда вычислительные ресурсы динамически предоставляются клиенту через интернет, посредством *web*-приложений и *web*-сервисов от внешнего поставщика услуг, который тарифицирует реально потребленные вычислительные мощности [9]. Внешнее облако разворачивается в том случае, когда нагрузка на приложение исходит от большого количества работников (например, при использовании приложений электронной почты). Этот поток входящей нагрузки не требует кастомизации (индивидуального конфигурирования). Такое облако часто используется для предоставления услуги, емкость которой может наращиваться постепенно. Благодаря этому предприятие может продолжать работу даже тогда, когда достигнут верхний предел вычислительной загрузки. Такой тип облака также является предпочтительным, когда предприятие участвует в совместном проекте или, когда необходимо протестировать или отладить код приложения. Внешнее облако рекомендуется использовать в том случае, если предприятие уже использует *SaaS*-решение от поставщика облачных услуг, обеспечивающего достаточный уровень безопасности. Частное облако – традиционный выбор для

случая, когда данные и приложения составляют наибольшую ценность для бизнеса, таким образом, управляемость и безопасность становятся важнейшими факторами поддержания работоспособности предприятия. Предприятие, которое вынуждено приспосабливаться к жестким требованиям безопасности и защищенности, не имеет другого выбора, кроме как внедрять частное облако.

Применение облачных вычислений в практике работы помимо снижения общей стоимости владения сулит предприятиям целый ряд выгод. Среди прочего – повышение производительности благодаря тому, что работники предприятия могут получать доступ к своим приложениям из любой точки мира, достаточно иметь подключение к интернету. Сокращение требований к аппаратному обеспечению компьютеров работников посредством разделения доступа к облачной ИТ-платформе между пользователями с помощью виртуализации. Благодаря сокращению количества серверов центры данных сокращают энергозатраты, что в свою очередь приводит к экономии средств.

Возможность быстро обновлять аппаратное и программное обеспечение, чтобы ИТ-инфраструктура соответствовала потребностям клиентов. Это одно из важнейших конкурентных преимуществ для корпоративных потребителей облачных услуг [10].

Благодаря совместному использованию облачных ресурсов, сокращаются капитальные затраты на развитие ИТ-инфраструктуры и связанного с ИТ персонала. Сэкономленные средства могут быть направлены на расширение масштабов основных направлений деятельности компании.

Облачное производство предлагает переход от устаревшей производственно-ориентированной модели бизнес деятельности ПАО «Газпром» к сервисно-ориентированной модели. Ключевыми становятся понятия «производство как услуга», «дизайн как услуга», «менеджмент как услуга» и др. При использовании такого типа услуг выигрывают прежде всего такие промышленные гиганты, как ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Газпром»: производство и оборудование, которые не приносят прибыли, могут быть

предоставлены в распоряжение «облака», и это поможет обеспечивать их практически постоянную загрузку. Помимо этого, достигать пиковой производительности, а также внедрять и отрабатывать новейшие технологии в кратчайшие сроки и наиболее эффективным образом позволяет централизованная система управления промышленным облаком и коллаборация с другими крупными игроками рынка [11].

– У новой информационной технологии огромные перспективы, однако, предприятиям придется решить ряд серьезных проблем на пути внедрения такой системы:

– предстоит разработать схемы производств на всех этапах их осуществления, начиная с планирования и заканчивая отгрузкой готовой продукции;

– весь производственный цикл, от склада заготовок до склада готовой продукции, должен быть цифровизирован на 100 % для полномасштабного функционирования облачной промышленности.

Цифровизация является другим уровнем промышленного производства. Виртуализация является основой этого уровня: виртуализация заводов и цехов, простая и сложная виртуализация активов. Отсюда путем создания и внедрения системы виртуального мониторинга технологического процесса возникает научно-техническая проблема оперативности, повышения полноты и достоверности информационного обеспечения технологического персонала [12, 13].

Для решения этих технологий повышения эффективности необходимо использовать новые типы датчиков. Потенциальными преимуществами обладают беспроводные интеллектуальные датчики, которые содержат в себе алгоритмы работы и параметры, изменяемые по внешним сигналам. Также в них реализована функция метрологического самоконтроля.



## **2 Обзор в области автономных сенсоров и самоорганизующихся сетей**

### **2.1 Автономные датчики для беспроводных сенсорных сетей**

Долгое время практическое использование беспроводных датчиков с автономным электропитанием сдерживалось низкой надежностью радиоканала по сравнению с проводным соединением, трудностями обслуживания их энергоисточников и высокой стоимостью. Благодаря развитию элементной базы, появлению новых технологий передачи информации и миниатюризации интегральных микросхем, беспроводные датчики и основанные на них системы мониторинга и сбора данных стали реальностью. Они применяются во многих сферах жизнедеятельности человека [14, 15].

Основными компонентами автономного сенсора являются микроконтроллер, приемопередатчик, внешняя память, источник питания и один или более датчиков 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 [16].

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 [17]. 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 [18].

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.

Беспроводной узел датчика является популярным решением, когда трудно или невозможно подвести сетевое питание к узлу датчика [19]. Однако, 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 Кб на расстояние 100 метров затраты энергии примерно такие, как на выполнение 3 миллионов инструкций на 100 миллионов инструкций в секунду процессора. Энергия хранится или в аккумуляторах, или в конденсаторах. Находят применение как аккумуляторы перезаряжаемые, так и неперезаряжаемые. Они также классифицируются в соответствии с электрохимическим материалом электродов, таких как никель-кадмиевые, никель-цинковые, никель-металл-

гидридные и литий-ионные. Датчики тока могут перезаряжаться за счет энергии из солнечных источников, пьезогенераторов, или источников вибрации [20, 21].

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. Непрерывный аналоговый сигнал производится с помощью датчиков, оцифровывается с помощью аналого-цифрового преобразователя и отправляется в контроллер для дальнейшей обработки. Некоторые датчики содержат необходимую электронику для того, чтобы преобразовать исходные сигналы в сигналы, которые можно восстановить через цифровое соединение (например, *I2C*, *SPI*). 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) [22].

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 появления 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 повысить 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 [23].

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.

## **2.2 Обзор и сравнение беспроводных датчиков на мировом рынке**

Для рассмотрения технических решений, предлагаемых технологическими лидерами, был выполнен анализ технических данных по автономным сенсорам и самоорганизующимся измерительным системам. Для этого были использованы технические каталоги продукции, информация с официальных сайтов, презентации с конференций и семинаров [24-29]. Результаты обработки технических данных сведены в таблицу, представленную в приложении А, для наглядного отображения ключевых технических характеристик.

Приведенные в приложении А характеристики позволяют сделать вывод о высокой степени готовности решений, предлагаемых технологическими лидерами. Технические решения включают в себя не только поставку отдельных устройств (КИПиА, преобразователи), но и предлагают программные решения для мониторинга, анализа и конфигурирования беспроводных устройств, то есть представляют собой законченные решения для применения в АСУ ТП опасных производственных объектов газодобычи и газотранспорта.

Для проведения анализа решений, высокой степени готовности к практическому применению технических средств и технологий на основе автономных сенсоров и самоорганизующихся систем, необходимо было определиться, что такое автономные сенсоры и самоорганизующиеся системы. Эти два понятия неразрывно связаны при рассмотрении перспективных технологических направлений. Часто используются термины «сенсорные самоорганизующиеся системы», «беспроводные самоорганизующиеся сети». Понятие автономный сенсор имеет более четкое определение – это беспроводной, со встроенным модулем питания датчик, в большинстве случаев осуществляющий передачу измеренных значений на модуль сбора данных (шлюз). При рассмотрении данного перспективного технологического направления применительно к системам автоматизации термин «самоорганизующаяся система» применяется к понятию беспроводной сенсорной сети, обладающей атрибутами самоорганизации и самовосстановления. При рассмотрении выбранных и анализируемых решений технологических лидеров выяснилось, что функционал по самоорганизации реализован только у двух компаний, применяющий в своих решениях протокол передачи данных *WirelessHART*, остальные решения не реализуют данный функционал. Также, анализируя практический опыт применения технологии на основе автономных сенсоров на объектах газодобычи и газотранспорта, было выявлено, что функционал по самоорганизации не является ключевым и не должен являться основанием для исключения из рассмотрения решений остальных выбранных технологических лидеров.

В виду наличия особенностей реализации технологий на основе автономных сенсоров различными технологическими лидерами, рекомендуется при построении систем автоматизации использовать решения от одного производителя. Не смотря на техническую возможность интеграции различных производителей в рамках одного стандарта (*ISA100.11a* или *WirelessHART*), ни

один из производителей открыто не декларирует возможность совместной работы своего оборудования с оборудованием сторонних производителей.

Сравнительный анализ решений, предлагаемых производителями беспроводных измерительных систем, показал, что по совокупности технико-технологических характеристик беспроводной измерительной системы бесспорным технологическим лидером является «*Emerson*», но экономическая оценка применения сенсоров выявила значительное превышение стоимости данных решений относительно решений производителей – лидеров экономического рейтинга.

Решения «*Honeywell*» продемонстрировали высокий уровень экономической эффективности, при этом имея средний результат по технико-технологическим характеристикам, обусловленный узким набором предлагаемых беспроводных компонентов. Решения «*Yokogawa*» и «*Siemens*» имеют схожий с «*Honeywell*» технологический уровень, но значительно уступают в стоимости.

«*Schneider Electric*» имеет широкий набор беспроводных датчиков, но ценовая политика не позволяет ему конкурировать в экономическом поле с лидерами.

Одним из лидеров усредненного рейтинга является беспроводная измерительная система производства «БИНАР» по причине высокой экономической эффективности предлагаемых решений, а также достаточности набора компонентов беспроводной системы для решения задач автоматизации газораспределительной станции.

Оборудование компании «*Emerson*» экономически целесообразно применять в том случае, когда технические или климатические ограничения не позволяют применить оборудование «*Honeywell*» или «БИНАР». С учетом температуры эксплуатации беспроводного шлюза «*Emerson*» (от -40 до +70 °С) для применения данного шлюза при температуре ниже -40 °С необходимо

использовать обогреваемый шкаф, не создающий значительных препятствий прохождению радиосигнала.

Оборудование «БИНАР» целесообразно применять на объектах, минимальная температура воздуха которых находится в диапазоне от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $50^{\circ}\text{C}$ . При температурах окружающего воздуха до  $-40^{\circ}\text{C}$  системы «БИНАР» способны демонстрировать экономическое преимущество относительно систем «Honeywell» в сценариях применения с количеством датчиков менее 8 штук (включительно). Это обусловлено ограничением по количеству подключаемых датчиков к одному беспроводному шлюзу – не более 8 штук и, как следствие, необходимостью установки значительного количества беспроводных шлюзов на типовых объектах.

В Российской Федерации к нелицензируемым диапазонам частот, которые при условии соблюдения требований по ширине полосы, назначению готового изделия и излучаемой мощности могут быть использованы без оформления разрешения ГКРЧ, относят [30]:

- диапазон частот 433,075 – 434,750 МГц;
- диапазон частот 868,0 – 868,2 МГц;
- диапазон частот 868,7 – 869,2 МГц;
- диапазон частот 2400,0 – 2483,5 МГц.

Для 434 МГц мощность передатчика должна составлять не более 10 мВт, для 868,0 – 868,2 МГц – до 10 мВт, для 868,7 – 869,2 МГц – до 25 мВт, для 2,4 ГГц – не более 100 мВт.

Большинство предлагаемых технических решений на основе применения автономных сенсоров базируется на использовании следующих радиочастот: 2,4 ГГц, 434 МГц и 868 МГц.

Основное различие между данными *ISM*-диапазонами определяется частотой излучения и как следствие, свойствами радиоволн. Применительно к задаче сбора данных, систем беспроводного управления и контроля, наиболее оптимальным решением является использование диапазона 868 МГц. По

сравнению с СВЧ диапазоном 2,4 ГГц, более длинные волны 868 МГц имеют меньшую интенсивность затухания, соответственно большая проникаемость сквозь преграды и дальность передачи сигнала гораздо выше.

Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 29182-1-2018 [31] сенсорные сети могут иметь статическую топологию или динамически адаптироваться к добавлению или удалению сенсорных узлов и, при необходимости, переконфигурироваться. Таким образом, может поддерживаться динамическая топология сенсорной сети. Самовосстановление и самоорганизация являются атрибутами беспроводных сенсорных сетей. Они тесно связаны с динамической сетевой топологией. Самоорганизацией называется способность сенсорной сети без необходимости вмешательства человека образовывать сетевой граф. Он показывает, с какими сенсорными узлами связывается данный сенсорный узел. С другой стороны, самовосстановление – это способность сети восстанавливаться после сбоя каналов связи или сенсорных узлов. После того, как сеть восстановится или самоорганизуется, необходимые связи могут быть налажены, и сенсорная сеть на приемлемом уровне может выполнять свою функцию.

Одной из базовых сетевых топологий является «звезда» с одним центральным или маршрутизирующим узлом, отправляющим и получающим информацию от всех конечных узлов [32]. У всех конечных узлов, таким образом, только одна функция – передача данных центральному узлу. Благодаря этому, они потребляют очень мало энергии: после отправки данных они возвращаются в спящий режим. Помимо высокой энергоэффективности, топология «звезда» не позволяет отказу какого-либо конечного устройства повлиять на всю остальную сеть: каждое конечное устройство изолировано от остальной сети единственным каналом связи с центральным устройством.

Ячеистая топология состоит из узлов, каждый из которых может служить коммутатором для соседних узлов [33]. Ячеистая топология обеспечивает надежную и безопасную передачу данных, а также, отлично масштабируется. Если маршрут через один или несколько узлов не работает, узел может



маршрутизировать данные соседнему узлу, и они, в конечном итоге, достигнут точки назначения альтернативным путем.

Такие компании, как *Emerson* и *Siemens* используют в своих решениях динамическую топологию, что позволяет сети самоорганизоваться [34]. Данная организация позволяет любому узлу сети для других участников сети выполнять функции транзитной передачи пакетов (маршрутизации), что улучшает стабильность передачи данных в ряде применений.

Также необходимо отметить, что у компании *Yokogawa* самоорганизация сети обеспечена на уровне связи устройств сбора данных [27].

Технологии самоорганизующихся сетей взяты за основу построенных на базе открытого протокола *WirelessHART* беспроводных решений, то есть автоматически происходит настройка параметров передачи с минимальным участием пользователя.

В построенных на базе стандарта *ISA100.11a* устройствах используется статическая топология «звезда» с *IP*-адресацией полевых приборов. Предполагаются обследование местности на объекте пользователя и дополнительное планирование радиосети, поскольку не используется принцип самоорганизации сети. Как правило, требуется сертифицированный специалист для проведения подобных работ.

В стандарте *WirelessHART*, благодаря описанию прикладного уровня (программный, седьмой уровень по модели *OSI*), взаимно совместимы все поддерживающие его устройства: диагностика, настройка и калибровка осуществляется по единому алгоритму, аналогично проводному *HART* [35]. По всему миру с использованием протокола *HART* работают миллионы устройств. Беспроводными адаптерами, позволяющими интегрировать проводные *HART*-устройства в беспроводную сеть *WirelessHART*, можно оснастить существующую базу проводных приборов *HART*. Таким образом, через беспроводный шлюз в системе верхнего уровня обеспечивается единый доступ к беспроводным и проводным приборам. В стандарте *ISA100* также

декларируется мульти-протокольность, то есть в систему, говорящую на языке *HART*, *Profibus*, *DeviceNet* или любом другом промышленном коммуникационном протоколе, могут быть интегрированы устройства *ISA100.11a*. Это не совсем так. Данные проводные протоколы до сих пор взаимно несовместимы, несмотря на то, что они существуют уже многие годы. Так называемое «туннелирование» (вложение сообщения для передачи информации от полевых устройств проводного протокола вместе с беспроводным) не решает проблему взаимной совместимости протоколов. Без дополнительного аппаратного комплекса, определения команд, ПО и проведения дополнительных исследований с участием всех представителей стандартов устройства с разными протоколами не могут просто так «общаться» на одном языке.

Для обеспечения взаимной совместимости единственным путем является наличие единого прикладного уровня, но разработчики *ISA100* прямо заявляют, что не планируют его определять, и оставляют эту задачу за производителями КИП.

Преимуществами стандарта *ISA100.11a* является то, что в стандарте временные интервалы являются гибкими и имеют возможность конфигурирования, что в свою очередь позволяет поддерживать три основных режима работы: медленное изменение частоты от канала к каналу, скачкообразное изменение частоты между каналами и гибридное. Благодаря такой гибкости, *ISA100.11a* может обслуживать различные наборы устройств, начиная с тех, которые передают данные периодически и требуют синхронизации по времени, до тех, которые передают данные спорадически и основное время неактивны, соответственно, не требуют синхронизации по времени. Такая маршрутизация позволяет обеспечивать высокую надежность коммуникации без дополнительных затрат энергии батареи.

Несмотря на то, что функция самоорганизации реализована только у компаний, применяющих протокол передачи данных *WirelessHART* с

динамической топологией сети, стандарт *ISA100.11a* продолжает применяться при реализации решений технологий на основе автономных сенсоров.

### **2.3 Категории элементов для автономных сенсоров**

На данный момент технологические лидеры предлагают два варианта реализации «беспроводности»:

- автономный сенсор с интегральным блоком передачи;
- автономный сенсор с отдельным блоком электроники передачи (используется специальный беспроводной адаптер для приборов, работающих по протоколу *HART*).

Анализ технических решений технологических лидеров показал, что все элементы автономных сенсоров с интегральным блоком передачи категоризируются на следующие группы:

- корпус;
- дисплей;
- блок электроники датчика:
  - печатная плата;
  - активные радиоэлементы;
  - пассивные радиоэлементы;
- батарея;
- антенна.

В свою очередь, элементы автономных сенсоров с отдельным блоком электроники передачи (совмещенным с батареей в едином корпусе) категоризируются на следующие группы:

- корпус;
- дисплей;
- блок электроники датчика:
  - печатная плата;

- активные радиоэлементы;
- пассивные радиоэлементы;
- антенна с блоком электроники передачи (совмещенная с батареей в едином корпусе).

Категории элементов для автономных сенсоров сформированы исходя из предложений производителей, изложенных в каталогах, руководствах по эксплуатации [25-29].

Назначение каждого из элементов:

- корпус – металлическая оболочка, в которой помещается какой-нибудь механизм, какое-нибудь приспособление и т. п. Корпус предназначен для размещения в нем блока электроники, элементов питания, а также размещения на нём дисплея датчика. Корпус обеспечивает необходимую защиту от пыли и влаги, различных погодных явлений, а также взрывозащиту датчика (при её наличии);
- дисплей – необходимое устройство вывода информации. Дисплей предназначен для отображения выбранных параметров (физические единицы измерения, % от диапазона измерений и т. п.);
- блок электроники – блок, включающий в себя электронную плату выходного сигнала, опциональные внешние кнопки конфигурирования и клеммный блок. Блок электроники предназначен для преобразования полученного сигнала от первичного измерителя (сенсор) в унифицированный выходной сигнал;
- батарея – это группа соединённых параллельно или последовательно электрических двухполюсников. Батарея предназначена для автономного питания электронного блока;
- антенна – устройство, которое предназначено для излучения или приема радиоволн. Она (для датчика с интегральным блоком передачи) предназначена для организации беспроводной связи от блока электроники

датчика до оборудования сбора и обработки информации автономных датчиков (беспроводных шлюзов);

– антенна с блоком электроники передачи и с батареей (для датчика с отдельным блоком передачи) – питание блока электроники датчика и организация беспроводной связи. Однако, поскольку энергоэффективность элементов проводных КИП ниже (а в автономных беспроводных сенсорах снижают энергопотребление для увеличения срока службы элемента питания), то срок службы элемента питания подобного адаптера будет ниже, чем при реализации датчика с интегрированным блоком передачи.

## **2.4 Обзор применения беспроводной сенсорной сети на производстве**

В 2012 году в компании ОАО «Томскгазпром» для автоматизации новых нефтяных и газовых скважин было принято решение об использовании беспроводной сенсорной сети.

Было применено следующее оборудование:

- датчики давления 3051S в количестве 368 штук;
- датчики температуры 648 в количестве 36 штук;
- беспроводной шлюз 1420 в количестве 12 штук.

Для измерения линейного, затрубного и буферного давления нефтяных и газовых скважин использовались беспроводные датчики давления.

Для измерения температуры после штуцера газовых скважин используются беспроводные датчики температуры.

Датчики, оборудованные термочехлами без обогрева, были установлены непосредственно на оборудовании устья скважины через вентильные блоки или защитные гильзы.

Данное оборудование было установлено на месторождениях Северо-Васюганское, Северо-Останинское, Болтное, Казанское, Мыльджинское. Минимальная температура за две зимы эксплуатации составила -43 °С.

Согласно отзывам ОАО «Томскгазпром», беспроводные датчики зарекомендовали себя как высоконадежные средства автоматизации. Сбоев не наблюдалось, влияния температурных пиков замечено не было. Отмечается легкость и удобство монтажа и эксплуатации беспроводных датчиков.

В 2010 году в компании ОАО «Лукойл-Коми» проводилась модернизация скважин.

Было установлено следующее оборудование:

- датчики давления в количестве 487 штук;
- датчики температуры;
- беспроводной шлюз в количестве 10 штук.

За счет экономии на материалах (клеммные шкафы, кабельная продукция, коробка) и на строительно-монтажных работах беспроводные решения позволили уменьшить капитальные затраты при реализации проекта, т.к. нет необходимости строить эстакады. Также по сравнению с проводным вариантом существенно сократился срок ввода в эксплуатацию проекта.

В компании АО «Транснефть» решено было использовать беспроводные сенсоры для контроля загазованности.

В 2006 году в компании ПАО «Оренбургнефть» первый беспроводной датчик был введен в эксплуатацию в рамках проекта по телемеханизации скважин. С помощью беспроводных датчиков измерялись линейное, затрубное и буферное давления. Также было установлено 130 беспроводных шлюзов.

Периодичность опроса беспроводных датчиков составляла 1 раз в 10 секунд. Первую замену аккумулятора в таком режиме осуществили через 5,5 лет. Характеристика выпускаемой продукции по этому показателю на текущий момент улучшилась и составила в среднем 7 лет.

Также была испытана дальность передачи. На дальности 150 метров сбоев не обнаружено.

Согласно комментарию данной компании, трудовые и временные затраты на строительно-монтажные и пусконаладочные работы сокращаются как при

первичном запуске в эксплуатацию, так и в процессе эксплуатации. При постановке ремонтных бригад на скважину отсутствует необходимость демонтажа и монтажа кабельной продукции.

Монтаж производится легче – после установки в посадочное место на технологическом трубопроводе прибор готов к работе. Однако, для настройки требуется более квалифицированный специалист, чем при настройке проводного датчика.

### 3 Сравнение технологических параметров беспроводных сенсоров

При рассмотрении беспроводных датчиков на мировом рынке было выявлено, что на территории РФ, а именно в компаниях АО «Томскгазпром», АО «Транснефть», ОАО «Лукойл-Коми», ОАО «Газпром автоматизация», ПАО «Оренбургнефть», ООО «Газпром трансгаз Югорск», ООО «Газпром добыча Ноябрьск», наибольшее применение на практике приходится на датчики компании «Emerson», «Honeywell» и «БИНАР». Технические характеристики беспроводных решений компании «БИНАР» немного уступают зарубежным конкурентам, но, принимая во внимание политику импортозамещения компании ПАО «Газпром», включим данные беспроводные сенсоры в список рассматриваемых.

#### 3.1 Беспроводные датчики «Honeywell»

Рассмотрим датчик давления газа. Технические характеристики датчика давления газа *Honeywell XYR6000* (рисунок 3.1) представлены в таблице 3.1.



Рисунок 3.1 – Датчик давления *Honeywell XYR6000*

Таблица 3.1 – Технические характеристики датчика давления *Honeywell XYR6000*

Параметр	Описание
Среда измерения	жидкости (в т.ч. нефтепродукты), пар, газ, газовые смеси
Измеряемый параметр	избыточное давление, абсолютное давление, разность давлений
Диапазон измерения	Датчики избыточного давления: от 0 до 41,5 МПа Датчики абсолютного давления: от 0 до 3,45 МПа Датчики разности давлений: от 0 до 20,68 МПа



### Продолжение таблицы 3.1

Параметр	Описание
Точность	основная приведенная погрешность: $\pm 0.10\%$ , $\pm 0.175\%$
Время обновления	1, 5, 10, 30 или 60 секунд
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 40 до плюс 85 °С
Срок службы батареи	6 лет
Степень защиты	IP66/67
Взрывозащита	1ExdIICT4
Цена	от 31000 рублей

Рассмотрим датчик температуры газа. Технические характеристики датчика температуры газа *Honeywell XYR6000* (рисунок 3.2) представлены в таблице 3.2.



Рисунок 3.2 – Датчик температуры *Honeywell XYR6000*

Таблица 3.2 – Технические характеристики датчика температуры *Honeywell XYR6000*

Параметр	Описание
Среда измерения	жидкие и газообразные среды
Диапазон измерения	от минус 184 до плюс 649 °С
Точность	$\pm 0,10\%$
Время обновления	1, 5, 10 или 30 секунд
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 40 до плюс 85 °С
Степень защиты	IP66
Взрывозащита	1ExdIICT4
Цена	от 30000 рублей

Рассмотрим датчик уровня. Технические характеристики датчика уровня *Honeywell SmartLine* (рисунок 3.3) представлены в таблице 3.3.



Рисунок 3.3 – Датчик уровня *Honeywell SmartLine*

Таблица 3.3 – Технические характеристики датчика уровня *Honeywell SmartLine*

Параметр	Описание
Среда измерения	Жидкие (нефть, темные и светлые нефтепродукты, вода, сжиженный газ, кислоты и др.)
Диапазон измерения	от 0,1 до 80 м
Точность	погрешность измерений $\pm 3$ мм
Диапазон температуры измеряемой среды	от минус 40 до плюс 200 °С
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 40 до плюс 50 °С
Степень защиты	<i>IP67</i>
Взрывозащита	<i>ExiaIICT4</i>
Цена	от 40000 рублей

Компания *Honeywell* не имеет в номенклатуре беспроводного датчика уровня, для этих целей используется сочетание датчика уровня с *HART*-протоколом и беспроводного адаптера (*OWA-100*).

Рассмотрим беспроводной адаптер. Технические характеристики беспроводного адаптера *OWA-100* (рисунок 3.4) представлены в таблице 3.4.



Рисунок 3.4 – Беспроводной адаптер *OWA-100*

Таблица 3.4 – Технические характеристики беспроводного адаптера OWA-100

Параметр	Описание
Полоса радиочастот	от 2400 до 2483,5 МГц
Максимальная излучаемая мощность	10 мВт
Максимальная скорость передачи информации	250 кбит/с
Дальность действия	305 м при условии прямой видимости
Антенна	встроенная, всенаправленная
Время обновления	от 5 секунд до 1 минуты
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 40 до плюс 85 °С
Питание	литий-тионилхлоридная батарея 3,6 В, подключается к действующему контуру 4-20 мА с питанием от 7 до 30 В постоянно тока и потреблением 25 мА; срок службы батареи при эталонных условиях с 30 секундным циклом работы без маршрутизации – более 3 лет
Степень защиты	IP66
Взрывозащита	ExiaIICT4
Цена	От 25000 рублей

Рассмотрим точку доступа. Технические характеристики точки доступа OW03-650-200 (рисунок 3.5) представлены в таблице 3.5.



Рисунок 3.5 – Точка доступа OW03-650-200

Таблица 3.5 – Технические характеристики точки доступа OW03-650-200

Параметр	Описание
Полоса радиочастот	от 2400 до 2483,5 МГц
Максимальная излучаемая мощность	10 мВт
Максимальная скорость передачи информации	250 кбит/с
Дальность действия	Дистанция до 450 м. со стандартной всенаправленной антенной
Антенна	две антенны
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 40 до плюс 75 °С
Питание	24V DC, 110/230V AC
Степень защиты	IP66
Взрывозащита	ExiaIICT4
Цена	От 25000 рублей

### 3.2 Беспроводные датчики «БИНАР»

Рассмотрим сенсорный модуль давления. Технические характеристики сенсорного модуля давления ВН1225.600 (рисунок 3.6) представлены в таблице 3.6.



Рисунок 3.6 – Сенсорный модуль давления ВН1225.600

Таблица 3.6 – Технические характеристики сенсорного модуля давления ВН1225.600

Параметр	Описание
Среда измерения	жидкость или газ, неагрессивный к титановому сплаву
Диапазон измерения	от 0 до 60 МПа
Точность	предел допускаемой основной погрешности: $\pm 0,25\%$
Время обновления	от 3 до 3600 с
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 50 до плюс 50 °С
Срок службы батареи	до 3 лет (при времени обновления 60 с)
Степень защиты	IP66
Взрывозащита	1ExibIIAT4
Цена	от 25000 рублей

Рассмотрим сенсорный модуль температуры. Технические характеристики сенсорного модуля температуры ВН1225.700 (рисунок 3.7) представлены в таблице 3.7.



Рисунок 3.7 – Сенсорный модуль температуры ВН1225.700

Таблица 3.7 – Технические характеристики сенсорного модуля температуры ВН1225.700

Параметр	Описание
Среда измерения	жидкость или газ, неагрессивный к нержавеющей стали
Диапазон измерения	от минус 40 до плюс 100 °С
Точность	в диапазоне измерения от минус 40 до 0 °С, $\pm 2\text{ °С}$ в диапазоне измерения от 0 до 100 °С, $\pm 1\text{ °С}$

Продолжение таблицы 3.7

Параметр	Описание
Время обновления	от 3 до 3600 с
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 50 до плюс 50 °С
Срок службы батареи	до 3 лет (при времени обновления 60 с)
Степень защиты	IP66
Взрывозащита	1ExibIIAT4
Цена	от 27000 рублей

Рассмотрим сенсорный модуль уровня. Технические характеристики сенсорного модуля уровня (рисунок 3.8) представлены в таблице 3.8.

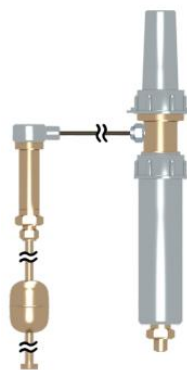


Рисунок 3.8 – Сенсорный модуль уровня

Таблица 3.8 – Технические характеристики сенсорного модуля уровня

Параметр	Описание
Среда измерения	любые жидкости (нефтепродукты, кислоты, щелочи, парафины, жидкое стекло и т.д.)
Диапазон измерения	ПЛП1000: от 0,05 до 4 м; ПЛП2000: от 0,05 до 25 м
Точность	погрешность измерений $\pm 1$ мм
Время обновления	от 3 до 3600 с
Диапазон температуры измеряемой среды	от минус 45 до плюс 85 °С
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 55 до плюс 85 °С
Срок службы батареи	до 5 лет (при времени обновления 60 с)
Степень защиты	IP65
Взрывозащита	0ExibIIAT4
Цена	от 25000 рублей

Рассмотрим модуль сбора и связи. Технические характеристики модуля сбора и связи (рисунок 3.9) представлены в таблице 3.9.

Модуль сбора и связи предназначен для автоматического сбора данных с сенсорных измерительных модулей, обработки полученной информации и передачи её на базовую станцию.

Модуль сбора и связи обеспечивает прием сигналов от сенсорных модулей в *ISM* диапазоне 868 МГц и ретрансляцию этих сигналов на базовую станцию в *ISM* диапазоне 433 МГц.



Рисунок 3.9 – Модуль сбора и связи

Таблица 3.9 – Технические характеристики модуля сбора и связи

Параметр	Описание
Полоса радиочастот	от 868 до 868,2 МГц – «ближний линк»; 433,92 МГц ± 0,2 % – «дальний линк»
Максимальная излучаемая мощность	10 мВт
Максимальная скорость передачи информации	50 кбит/с – «ближний линк» 32,7 кбит/с – «дальний линк»
Дальность действия	до 100 м на частоте 868 МГц до 10000 м на частоте 433 МГц
Антенна	приёмопередающая, спиральная
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 50 до плюс 50 °С
Питание	батарея – до 10 лет (период опроса СМ 60 с)
Степень защиты	IP66
Взрывозащита	1ExibIIAT4
Цена	от 20000 рублей

Рассмотрим базовую станцию. Технические характеристики базовой станции (рисунок 3.10) представлены в таблице 3.10.

Базовая станция предназначена для приема данных от отдельных территориально распределенных модулей сбора и связи, СМ и передачи информации на автоматизированное рабочее место (АРМ) специалиста или контроллер существующей АСУ ТП.

Базовая станция обеспечивает прием сигналов по каналу связи от модуля сбора и связи в *ISM* диапазоне 433 МГц, от сенсорных модулей в *ISM* диапазоне

868 МГц. Базовая станция обеспечивает передачу информации по протоколу *Modbus RTU* через блок питания и связи (БПС) по интерфейсу *RS-232* или интерфейсу *RS-485*.



Рисунок 3.10 – Базовая станция

Таблица 3.10 – Технические характеристики базовой станции

Параметр	Описание
<b>Канал связи 433 МГц</b>	
Полоса радиочастот	433,92 МГц ± 0,2 %
Максимальная излучаемая мощность	10 мВт
Максимальная скорость передачи информации	38 кбит/с
<b>Канал связи 868 МГц</b>	
Полоса радиочастот	от 868,7 до 869,2 МГц
Максимальная излучаемая мощность	10 мВт
Максимальная скорость передачи информации	50 кбит/с
Цена	от 20000 рублей

### 3.3 Беспроводные датчики «Emerson»

Рассмотрим датчик давления газа. Технические характеристики датчика давления газа *Rosemount 3051S* (рисунок 3.11) представлены в таблице Таблица 3.11.



Рисунок 3.11 – Датчик давления газа *Rosemount 3051S*

Таблица 3.11 – Технические характеристики датчика давления *Rosemount 3051S*

Параметр	Описание
Среда измерения	жидкости (в т.ч. нефтепродукты), пар, газ, газовые смеси
Измеряемый параметр	избыточное давление, абсолютное давление, разность давлений
Диапазон измерения	минимальный от 0 до 0,025 кПа; максимальный от 0 до 68,9 МПа;
Точность	основная приведенная погрешность: $\pm 0,025\%$ , $\pm 0,055\%$
Время обновления	от 1 до 7200 с
Диапазон температуры измеряемой среды	от минус 75 до плюс 205 °С
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 50 до плюс 80 °С
Срок службы батареи	10 лет при н.у. и периодичность передачи данных – 10 мин
Степень защиты	<i>IP68</i>
Взрывозащита	<i>1ExdIICT5</i>
Цена	от 40000 рублей

Рассмотрим датчик температуры газа. Технические характеристики датчика температуры газа *Rosemount 648* (рисунок 3.12) представлены в таблице 3.12.



Рисунок 3.12 – Датчик температуры *Rosemount 648*

Таблица 3.12 – Технические характеристики датчика температуры *Rosemount 648*

Параметр	Описание
Среда измерения	жидкие и газообразные среды
Диапазон измерения	от минус 196 до плюс 1200 °С
Погрешность	$\pm 0,225\%$
Время обновления	от 1 секунды до 60 минут
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 40 до плюс 70 °С (без ЖК-индикатора); от минус 20 до плюс 70 °С (с ЖК-индикатором);
Срок службы батареи	10 лет при одноминутной частоте обновления в стандартных условиях
Степень защиты	<i>IP66/67</i>
Взрывозащита	<i>0ExiaIICT4</i>
Цена	от 35000 рублей



Рассмотрим датчик уровня. Технические характеристики датчика уровня *Rosemount 3308* (рисунок 3.13) представлены в таблице 3.13.



Рисунок 3.13 – Датчик уровня *Rosemount 3308*

Таблица 3.13 – Технические характеристики датчика уровня *Rosemount 3308*

Параметр	Описание
Среда измерения	нефть, темные и светлые нефтепродукты, вода, сжиженный газ, кислоты, газ
Диапазон измерения	от 0,1 до 10 метров;
Точность	погрешность измерений $\pm 6$ мм (до 10 м)
Время обновления	от 4 секунд до 60 минут;
Диапазон температуры измеряемой среды	от минус 40 до плюс 150 °С
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 40 до плюс 85 °С (без ЖК-индикатора); от минус 20 до плюс 80 °С (с ЖК-индикатором);
Срок службы батареи	9 лет при опросе 1 раз/мин;
Степень защиты	<i>IP67</i>
Взрывозащита	<i>0ExiaПСТ4</i>
Цена	от 45000 рублей

Рассмотрим беспроводной датчик горючих газов. Технические характеристики датчика загазованности *Net Safety Millennium II* (рисунок 3.14) представлены в таблице 3.14.



Рисунок 3.14 – Датчик загазованности *Net Safety Millennium II*

Таблица 3.14 – Технические характеристики датчика загазованности *Net Safety Millennium II*

Параметр	Описание
Среда измерения	довзрывоопасные концентрации горючих газов, объемные доли оксида углерода, кислорода и сероводорода;
Принцип измерения	оптический недисперсионный инфракрасный, термокаталитический, электрохимический;
Точность	±5 % НКПР;
Время прогрева датчика	не более 90 секунд;
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 55 до плюс 85 °С;
Степень защиты	IP64
Взрывозащита	1ExdПВТ5
Цена	от 65000 рублей

Компания *Emerson* не имеет в номенклатуре беспроводного датчика загазованности (метан), а также датчика оксида углерода, для этих целей используется сочетание датчика с *HART*-протоколом и беспроводного преобразователя сигнала *Emerson 775*.

Рассмотрим беспроводной преобразователь сигнала. Технические характеристики преобразователя *Emerson 775* (рисунок 3.15) представлены в таблице 3.15.



Рисунок 3.15 – Беспроводной преобразователь сигнала *Emerson 775*

Таблица 3.15 – Технические характеристики беспроводного преобразователя сигнала *Emerson 775*

Параметр	Описание
Максимальная излучаемая мощность	10 мВт;
Антенна	встроенная, всенаправленная;
Частота опроса	от 1 секунды до 60 минут;

Продолжение таблицы 3.15

Параметр	Описание
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 40 до плюс 85 °С;
Питание	литий-тионилхлоридная батарея 3,6 В, подключается к действующему контуру 4-20 мА с питанием от 7 до 30 В постоянно тока и потреблением 25 мА; срок службы батареи при эталонных условиях с 30 секундным циклом работы без маршрутизации – более 3 лет;
Степень защиты	IP66;
Взрывозащита	0ExiaПСТ4;
Цена	От 30000 рублей

Рассмотрим беспроводной преобразователь дискретного сигнала. Технические характеристики преобразователя дискретного сигнала *Rosemount 702* (рисунок 3.16) представлены в таблице 3.16.



Рисунок 3.16 – Беспроводной преобразователь дискретного сигнала *Rosemount 702*

Таблица 3.16 – Технические характеристики беспроводного преобразователя сигнала *Rosemount 702*

Параметр	Описание
Максимальная излучаемая мощность	10 мВт;
Антенна	встроенная, всенаправленная;
Частота опроса	от 1 секунды до 60 минут;
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 40 до плюс 85 °С;
Питание	сменный, искробезопасный литий-тионилхлоридный модуль питания в корпусе из полимера РВТ. Срок эксплуатации – 10 лет при скорости обновления раз в минуту;
Степень защиты	IP66;
Взрывозащита	0ExiaПСТ4;
Цена	От 45000 рублей

Рассмотрим беспроводной шлюз. Технические характеристики беспроводного шлюза *Rosemount 1420* (рисунок 3.17) представлены в таблице 3.17.



Рисунок 3.17 – Беспроводной шлюз *Rosemount 1420*

Таблица 3.17 – Технические характеристики шлюза *Rosemount 1420*

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	200 м стандартное исполнение, 800 м 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	ExiaIICT4
Цена	от 40000 рублей

### 3.4 Выбор беспроводных датчиков для применения на газораспределительной станции Томской ПП

При выборе беспроводных сенсоров для применения на газораспределительной станции Томской ПП Томского ЛПУМГ рассматривались датчики компании «Emerson», «Honeywell» и «БИНАР».

Сравним технические характеристики выбранных беспроводных датчиков давления газа. Максимальное давление газа в магистральном

газопроводе составляет 5,5 МПа. Все рассматриваемые сенсоры подходят под заданное требование. Погрешность показаний беспроводного датчика давления газа компании «*Honeywell*» наименьшая из представленных конкурентов. Наибольшая погрешность показаний имеет датчик давления газа компании «БИНАР». Время обновления показаний технических параметров данных типов датчиков наибольшая у компании «БИНАР». У ее конкурентов наименьшее время обновления составляет 1 секунду. Наименьшая температура окружающей среды, в которой можно устанавливать беспроводные сенсоры давления, компании «*Honeywell*» не удовлетворяют необходимым требованиям, так как в Томской области в зимнее время года она может опускаться ниже минус 40 градусов по Цельсию. Степень защиты корпуса у сенсоров давления газа компании «*Emerson*» является наибольшей среди представленных датчиков. Взрывонепроницаемая оболочка у датчиков давления газа компании «БИНАР» отсутствует.

Сравним технические характеристики выбранных беспроводных датчиков температуры газа. Диапазон измерения температуры газа у всех выбранных сенсоров допускает их применение на газораспределительной станции Томской ПП. Диапазон возможной температуры газа на ГРС составляет от -5 до 5 градусов по Цельсию. Время обновления показаний технических параметров данных типов датчиков, а также диапазон температуры окружающей среды, идентична беспроводным сенсорам давления газа соответствующих компаний. Взрывонепроницаемая оболочка имеется только у беспроводного датчика температуры газа компании «*Honeywell*». Степень защиты корпуса всех представленных сенсоров одинакова IP66.

Сравним технические характеристики выбранных беспроводных датчиков уровня. Глубина резервуаров под метанол, одорант и конденсат на газораспределительной станции Томской ПП составляет 1 метр. Диапазон измерения всех представленных беспроводных датчиков уровня соответствует заданному критерию. Наибольшая погрешность измерения представлена у

сенсора компании «*Emerson*», а наименьшая – у компании «БИНАР». Также у беспроводного датчика уровня данной компании наименьшая степень защиты корпуса *IP65*. Беспроводной сенсор уровня компании «БИНАР» удовлетворяет необходимым требованиям к наименьшей температуре окружающей среды. Два других рассматриваемых датчика уровня, напротив, не соответствуют данному критерию. Все представленные сенсоры уровня имеют искробезопасное исполнение.

Подведем итог выбора беспроводных датчиков для их применения на газораспределительной станции Томской ПП. Беспроводные сенсоры компании «БИНАР» имеют наименьшую степень защиты корпуса из рассматриваемых датчиков. Помимо этого, время обновления показаний технических параметров датчиков данной компании немного больше ее конкурентов. Плюсами для беспроводных сенсоров компании «БИНАР» являются их цена и диапазон температуры окружающей среды, но наличие узкой линейки автономных приборов, отсутствие взрывонепроницаемой оболочки у некоторых датчиков данной компании, а также наличие малого количества приборов на один шлюз не позволяют применять данные датчики для создания беспроводной сети управления газораспределительной станцией. Для беспроводных датчиков компаний «*Emerson*» и «*Honeywell*» необходим дополнительный обогрев при установке на открытом воздухе. У компании «*Honeywell*» в линейке беспроводных датчиков отсутствует датчик уровня. Из-за этого, при использовании данных сенсоров для обеспечения беспроводной передачи данных, необходимо в дополнении применять беспроводной адаптер, что приведет к возрастанию цены. Для передачи дискретных сигналов с электроконтактных манометров среди датчиков данной компании присутствуют беспроводные преобразователи дискретного сигнала. Следовательно, линейка беспроводных сенсоров данной компании включает в себя все необходимые датчики для применения на газораспределительной станции Томской ПП. С учетом всех технических характеристик, а также для унификации производителя

беспроводных сенсоров, выбор датчиков был сделан в пользу компании «Emerson».

### 3.5 Сравнение текущих датчиков с беспроводными аналогами

Проведем сравнение датчиков давления и температуры газа, применяемых на газораспределительной станции, с выбранными беспроводными датчиками. На входе и выходе газораспределительной станции расположены датчики давления газа Метран-150 [36] и датчики температуры ТСМУ [37].

В таблице 3.18 представлено сравнение текущего датчика давления газа с беспроводным.

Таблица 3.18 – Сравнение текущего датчика давления газа с беспроводным

Параметр	<i>Rosemount 3051S</i>	Метран-150
Среда измерения	жидкости (в т.ч. нефтепродукты), пар, газ, газовые смеси	
Измеряемый параметр	избыточное давление, абсолютное давление, перепад давлений	
Диапазон измерения	минимальный от 0 до 0,025 кПа; максимальный от 0 до 68,9 МПа;	
Точность	основная приведенная погрешность: ±0,025 %, ±0,055 %	основная приведенная погрешность: до ±0,065 %
Диапазон температуры измеряемой среды	от минус 75 до плюс 205 °С	от минус 40 до плюс 149 °С
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 50 до плюс 80 °С	от минус 40 до плюс 80 °С; от минус 60 до плюс 80 °С (опция)
Выходной сигнал	<i>WirelessHART</i>	4-20 мА <i>HART</i> , 0-5 мА
Степень защиты	<i>IP68</i>	
Взрывозащита	<i>1ExdIICT5</i>	
Цена	от 40000 рублей	от 30000 рублей

Как видно из таблицы 3.18, датчик давления газа *Rosemount 3051S* по характеристикам очень похож на Метран-150. По таким параметрам, как среда измерения, измеряемый параметр и диапазон измерения, рассматриваемые датчики идентичны. Помимо этого, степень защиты и наличие взрывозащиты схожи у двух датчиков. Следовательно, их можно устанавливать на территории взрывопожароопасных объектов.

Также из таблицы видно, что беспроводной датчик давления является более точным прибором, и диапазон температуры измеряемой среды у него шире, чем у Метран-150. Диапазон температуры окружающей среды у беспроводного датчика давления газа также немного шире, но при наличии определенной опции диапазон температуры у датчика давления газа Метран-150 становится больше.

Цена *Rosemount 3051S* немного больше, чем у Метран-150. У существующего датчика давления газа есть выходной сигнал типа *HART*. В связи с тем, что у Матран-150 схожие характеристики с беспроводным датчиком давления газа, то лучшим решением будет использовать беспроводной преобразователь сигнала совместно с существующим датчиком давления газа. Датчики перепада давления газа, установленные на пылеуловителях, также будут использованы совместно с беспроводными преобразователями сигнала.

В таблице 3.19 представлено сравнение текущего датчика температуры газа с беспроводным.

Таблица 3.19 – Сравнение текущего датчика температуры газа с беспроводным

Параметр	<i>Rosemount 648</i>	<i>ТСМУ-10</i>
Среда измерения	жидкие и газообразные среды	
Диапазон измерения	от минус 196 до плюс 1200 °С	от минус 50 до плюс 150
Погрешность	±0,225 %	±0,25 %
Выходной сигнал	<i>WirelessHART</i>	4-20 мА, 0-5 мА
Диапазон температуры окружающей среды	от -40 до +85 °С (без ЖК-индикатора); от -20 до +80 °С (с ЖК-индикатором);	от -40 до +50 °С
Степень защиты	<i>IP66/67</i>	<i>IP65</i>
Взрывозащита	<i>1ExiaIICT4</i>	<i>1ExdIICT6</i>
Цена	от 35000 рублей	от 12000 рублей

Как видно из таблицы 3.19, оба рассматриваемых датчика измеряют температуру газообразных сред. Диапазон измерения у беспроводного датчика температуры газа шире, чем у ТСМУ, также погрешность у первого меньше. Нижний предел температуры окружающей среды у обоих датчиков одинаков.

Степень защиты и наличие взрывозащиты позволяют устанавливать данные датчики температуры газа на территории взрывопожароопасных



объектов. Цена ТСМУ примерно в три раза меньше, чем у беспроводного датчика температуры газа, но так как данные с приборов необходимо передавать без проводов, а у ТСМУ нет выходного сигнала *HART*, то выбор будет сделан в пользу беспроводного датчика температуры газа *Rosemount 648*.

Далее, проведем сравнение датчиков уровня. В таблице 3.20 представлено сравнение текущего датчика уровня с беспроводным [38].

Таблица 3.20 – Сравнение текущего датчика уровня с беспроводным

Параметр	<i>Rosemount 3308</i>	ЛИМАКО УЛМ-11А2
Среда измерения	нефть, темные и светлые нефтепродукты, вода, сжиженный газ, кислоты, газ	
Диапазон измерения	от 0,1 до 10 метров;	от 0,6 до 15 метров
Точность	погрешность измерений $\pm 6$ мм	погрешность измерений $\pm 10$ мм
Диапазон температуры измеряемой среды	от минус 40 до плюс 150 °С	
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 40 до плюс 85 °С (без ЖК-индикатора); от минус 20 до плюс 80 °С (с ЖК-индикатором);	от минус 50 до плюс 50 °С
Выходные сигналы	<i>WirelessHART</i>	4-20 мА, RS-485
Степень защиты	IP67	IP56
Взрывозащита	0ExiaIICT4	1ExdIIBT6
Цена	от 45000 рублей	от 140000 рублей

Как видно из таблицы 3.20, у обоих рассматриваемых датчиков уровня схожи среда измерения и диапазон температуры окружающей среды. Диапазон измерения существующего датчика немного больше, чем у беспроводного, но так как глубина емкости составляет 1 метр, то оба датчика соответствуют данному критерию.

Точность и степень защиты беспроводного датчика уровня больше, чем у текущего датчика. Диапазон температуры окружающей среды у обоих датчиков соответствуют тому, чтобы использовать их на данной газораспределительной станции.

Цена существующего датчика уровня в несколько раз больше беспроводного. Благодаря этому критерию, а также наличию *WirelessHART*, выбор будет сделан в пользу беспроводного датчика уровня.

Сравним датчики загазованности, в таблице 3.21 представлено сравнение текущего датчика загазованности и рассматриваемого [39].

Таблица 3.21 – Сравнение текущего датчика загазованности и рассматриваемого

Параметр	<i>Net Safety Millennium II</i>	СГОЭС
Среда измерения	довзрывоопасные концентрации горючих газов, объемные доли оксида углерода, кислорода и сероводорода	довзрывоопасные концентрации горючих газов
Выходные сигналы	4-20 мА, RS-485, HART	
Точность	±5 % НКПР	
Время прогрева датчика	не более 90 секунд	не более 10 минут
Диапазон температуры окружающей среды	от минус 55 до плюс 85 °С	
Степень защиты	IP64	IP67
Взрывозащита	1ExdПВТ5	1ExdПСТ4
Цена	от 65000 рублей	от 75000

Как видно из таблицы 3.21, точность и диапазон температуры окружающей среды у двух рассматриваемых датчиков загазованности идентичны. Время прогрева рассматриваемого датчика намного меньше, чем у существующего. Степень защиты и наличие взрывозащиты позволяют устанавливать данные датчики загазованности на территории взрывопожароопасных объектов.

Цена рассматриваемого датчика немного меньше, чем у СГОЭС. Так как у существующих датчиков имеется выходной сигнал *HART*, то используем беспроводной преобразователь сигнала совместно с существующим датчиком загазованности. В качестве датчика загазованности по угарному газу используем датчик загазованности *Net Safety Millennium II* совместно с беспроводным преобразователем сигнала *Emerson 775*.

Для беспроводной передачи сигнала с электроконтактных манометров, установленных на выходных газопроводах узла редуцирования, в САУ ГРС будем использовать их совместно с беспроводными преобразователями дискретного сигнала.

В таблице 3.22 представлена спецификация автономных контрольно-измерительных приборов, обзор которых был проведен в главе 3.3.

Таблица 3.22 – Спецификация автономных контрольно-измерительных приборов

№	Наименование и техническая характеристика	Тип	Кол-во
1	Датчик температуры газа Маркировка взрывозащиты 0ExiaIICT4 Степень защиты IP67 Диапазон измерения от минус 196 до плюс 1200 °С Диапазон температуры окружающей среды от минус 40 до плюс 70 °С	Rosemount 648	5 шт.
2	Датчик уровня Маркировка взрывозащиты 0ExiaIICT4 Степень защиты IP67 Диапазон измерения от 0,1 до 10 метров Диапазон температуры окружающей среды от минус 40 до плюс 85 °С	Rosemount 3308	3 шт.
3	Контроль концентрации угарного газа Маркировка взрывозащиты 1ExdIIBT5 Степень защиты IP64 Диапазон температуры окружающей среды от минус 55 до плюс 85 °С	Net Safety Millennium II	1 шт.
4	Беспроводной преобразователь сигнала Маркировка взрывозащиты 0ExiaIICT4 Степень защиты IP66 Диапазон температуры окружающей среды от минус 40 до плюс 85 °С	Rosemount 775	16 шт.
5	Беспроводной преобразователь дискретного сигнала Маркировка взрывозащиты 0ExiaIICT4 Степень защиты IP66 Диапазон температуры окружающей среды от минус 40 до плюс 85 °С	Rosemount 702	3 шт.
6	Беспроводной шлюз Маркировка взрывозащиты 0ExiaIICT4 Степень защиты IP65 Диапазон температуры окружающей среды от минус 40 до плюс 70 °С	Rosemount 1420	1 шт.
7	Беспроводной монитор положения Степень защиты IP66 Диапазон температуры окружающей среды от минус 40 до плюс 80 °С	Fisher 4320	28 шт.

Из таблицы 3.22 видно, что на замену проводным датчикам температуры газа были выбраны беспроводные в количестве 5 штук. Три беспроводных датчика будут установлены в емкостях одоранта, метанола и конденсата, по одному на каждую. Беспроводные преобразователи сигнала будут установлены на датчики давления газа в количестве 4 штук, на датчики перепада давления газа в количестве 3 штук и на датчики загазованности в количестве 9 штук. Беспроводные преобразователи дискретного сигнала в количестве 3 штук будут установлены на электроконтактные манометры. Для приема сигналов со датчиков будет установлен один беспроводной шлюз. Для беспроводного дистанционного управления кранами будет использовано 28

мониторов положения. Общее количество автономных контрольно-измерительных приборов составило 57 штук.

#### 4 Описание технологического процесса

Исходная функциональная схема автоматизации ГРС-4 Томской ПП представлена в приложении Б.

Газораспределительная станция предназначена для редуцирования газа при его поставке промышленным потребителям, коммунально-бытовым и газораспределительным организациям с заданными расходом, давлением, необходимой степенью одоризации, очистки, учетом расхода газа, и, при необходимости, контроля качественных показателей [40].

Как видно из схемы, представленной в приложения Б, газ через входной кран № 1 поступает на четыре мультициклонных пылеуловителя (первый пылеуловитель не в работе). После очистки газ попадает в узел редуцирования, где имеется одиннадцать линий редуцирования. Через пять линий газ редуцируется для потребителя ТЭЦ-3. На двух из таких линий расположены регуляторы давления типа РДУ-80-100, на двух других расположены регуляторы давления ЛОРД, а на линии постоянного расхода представлено сужающее устройство.

Следующие три линии редуцирования необходимы для понижения давления газа для потребителя ТНХК. На двух из трех линий представлены регуляторы давления газа типа РДУ-80-100, а на линии постоянного расхода расположено сужающее устройство.

Последние три линии редуцирования – для потребителя ТПП. На всех линиях расположены регуляторы давления типа ЛОРД. После редуцирования газ поступает в узлы учета, где отдельно для каждого потребителя происходит учет газа. На линиях ТНХК и ТЭЦ-3 в узлах учета расположены диафрагмы, а на линии ТПП расположен счетчик газа. Также на данной линии имеется байпас.

После узла учета газа на линии ТЭЦ-3 производится отбор газа на химический анализ. Данный узел расположен только на одной линии, так как на двух других линиях газ имеет аналогичный состав. Далее, газ поступает в узел

переключений через выходные краны № 42, № 46 и № 47. Перед подачей потребителям газ одорируется для придания специфического запаха.

Одорант хранится в подземной емкости, значение уровня которого передается на САУ ГРС. Конденсат и мусор с мультициклонных пылеуловителей поступает в подземную емкость сбора конденсата, значение уровня которого также передается с помощью телемеханики. На территории ГРС также имеется подземная емкость метанола. Метанол нужен для предотвращения появления или избавления от гидратных пробок. Значение уровня в данной емкости в САУ ГРС не передается.

В таких помещениях, как узел хроматографа, операторная, котельная, узел редуцирования газа и узел переключения расположены датчики загазованности. В котельной, помимо датчика загазованности по метану, имеется датчик загазованности по угарному газу.

На входе и выходе ГРС расположены датчики температуры и давления газа, значения которых передаются на САУ ГРС. На пылеуловителях расположены датчики перепада давления газа, которые необходимы для фиксации загрязнения фильтров. Значения с данных датчиков также передаются с помощью телемеханики. При возникновении аварии на ГРС, на территории имеются два оповещателя.

На рисунке 4.1 представлена мнемосхема ГРС-4 Томской ПП. Зеленым цветом обозначены открытые краны, красным – закрытые. Синим цветом изображены краны без дистанционного управления. На входе и выходе ГРС указаны значения температуры и давления газа. Помимо этого, на мнемосхеме представлена информация о первом и втором пороге загазованности в каждом узле.

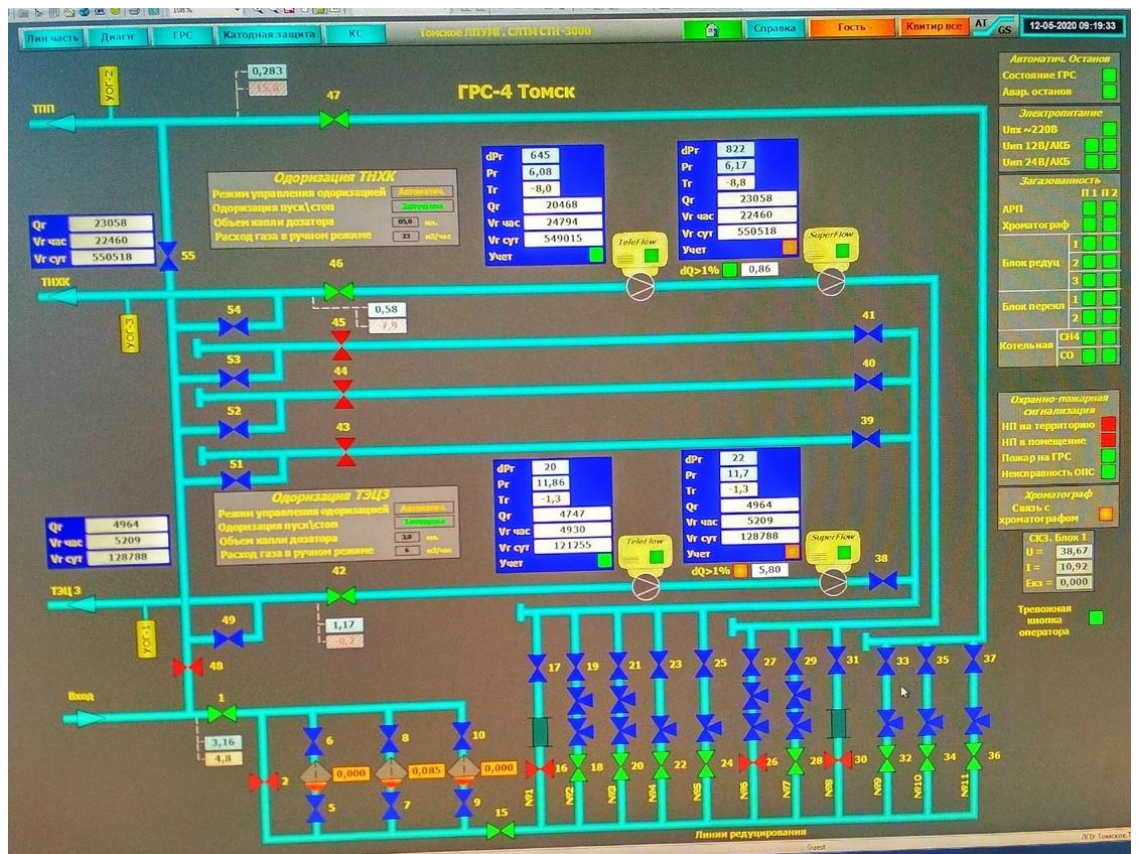


Рисунок 4.1 – Мнемосхема ГРС-4

В приложении В представлена измененная функциональная схема автоматизации ГРС-4 Томской ПП.

В данной схеме представлены следующие изменения:

- датчики с унифицированным токовым сигналом заменены на беспроводные;
- в подземную емкость метанола добавлен беспроводной датчик уровня метанола;
- ЭПУУ заменены на беспроводные мониторы положения;
- до и после счетчика газа на линии ТПП на краны добавлены беспроводные мониторы положения, а также на кран, расположенный на байпасе счетчика;
- на краны, расположенные на свечах трех линий потребителя, добавлены беспроводные мониторы положения;
- на кран свечи высокого давления добавлен беспроводной монитор положения.

Появление беспроводного датчика уровня одоранта позволит получать значение уровня в реальном времени. Оператор ГРС и диспетчер Томского ЛПУМГ постоянно смогут отслеживать уровень метанола и принимать решение о своевременном заполнении данной емкости.

Наличие беспроводных мониторов положения на свечных кранах позволят использовать аварийный останов ГРС со стравливанием газа, а наличие данных мониторов на кранах счетчика газа позволит защитить его от разрушения лопастей при аварии на ГРС.

Структурная схема ГРС Томской ПП представлена на рисунке 4.2.

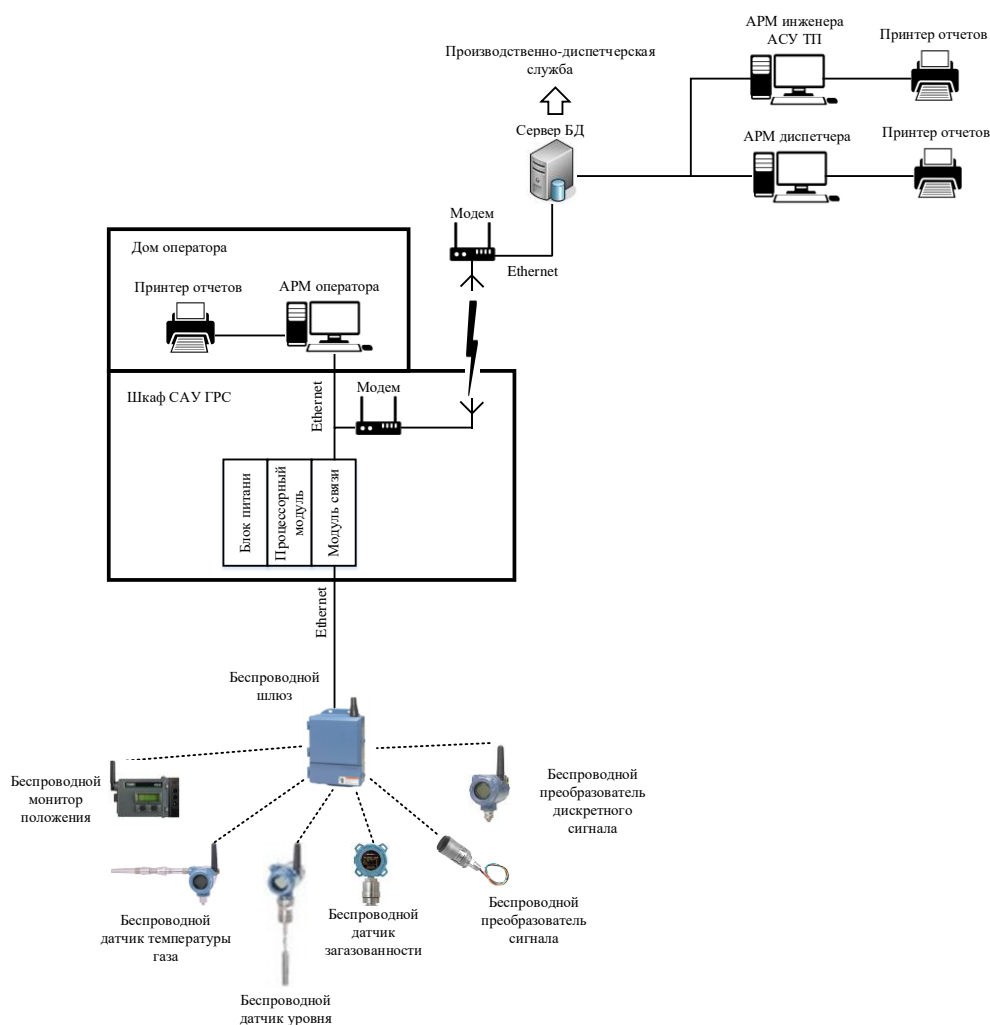


Рисунок 4.2 – Структурная схема ГРС

Данная схема выполнена по принципу трехуровневой иерархии.

Нижний уровень включает в себя беспроводные датчики для сбора информации о ходе технологического процесса, а также беспроводные мониторы



положения для управления трубопроводной арматурой. Беспроводные датчики, установленные на газораспределительной станции, передают данные на беспроводной шлюз посредством *WirelessHART*. Далее, данные посредством Ethernet передаются в САУ ГРС.

Средний уровень предусматривает сбор и первичную обработку информации с устройств полевого уровня, контроль обозначенных параметров, передачу (прием) данных на верхний уровень (с верхнего уровня). На основе информации, поступившей на средний уровень, формируются команды управления (автоматически или оператором). В данной системе средний уровень представлен распределённой системой управления, представляющей собой шкаф САУ ГРС. Шкаф построен на базе ПЛК.

На верхнем уровне происходит сосредоточение, обработка и упорядочивание (формирование БД) информации с нижних уровней. Также предусматривается индикация необходимых параметров, регистрация и хранение информации. Здесь происходит формирование отчетной документации и осуществление управления технологическими режимами системы.

## 5 Разработка алгоритмов

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала и технологического процесса на газораспределительной станции разработан порядок действий по автоматическому управлению оборудованием в различных ситуациях. Существующие алгоритмы могут быть неработоспособны в случае применения проводных датчиков по следующим причинам:

- при выполнении земляных работ на ГРС или просадке грунта происходит недопустимое натяжение или обрыв кабеля;
- при прокладке кабелей по эстакадам или прохождении через стены существует риск их попадания на острую кромку металлоконструкций, что приводит к заламыванию кабеля или замыканию жил на землю или между собой;
- возможное возникновение наводок при совместной прокладке большого количества кабелей различного назначения;
- невозможность управления оборудованием при длительном отсутствии питающего напряжения ГРС.

При использовании беспроводных датчиков данные проблемы устраняются. Также при модернизации технологического процесса или сомнениях в показаниях приборов имеется возможность свободно добавлять на оборудование ГРС любое количество датчиков.

На ГРС-4 Томской ПП имеется алгоритм аварийного останова, в результате которого при возникновении аварии на ГРС закроются входные и выходные краны всех линий потребителей, либо по отдельности. Так как свечные краны не имеют дистанционного управления, то в результате такого аварийного останова в трубах будет присутствовать газ. При возникновении пожара на территории ГРС имеется вероятность взрыва, что влечет за собой угрозу жизни обслуживающему персоналу. Чтобы избежать данной ситуации, в данной магистерской диссертации был разработан алгоритм аварийного останова ГРС со стравливанием газа.

В результате работы аварийный режим стал предусматривать два алгоритма останова ГРС: со стравливанием газа «АОс ГРС» и без стравливания газа «АОб ГРС».

Аварийный останов ГРС со стравливанием газа «АОс ГРС» выполняется при регистрации следующих сигналов:

- второй порог загазованности технологических отсеков ГРС;
- пожар технологических отсеков ГРС;
- нажатие оператором кнопки «Останов ГРС».

При этом выполняются следующие действия:

- включается световая и звуковая сигнализация;
- закрывается входной кран ГРС;
- закрываются выходные краны ГРС.

При подтверждении закрытия кранов:

- открывается кран аварийного сброса высокого давления газа;
- открываются краны аварийного сброса низкого давления газа;
- САУ ГРС переводится в ручной режим.

Аварийный останов ГРС без стравливания газа «АОб ГРС» выполняется при регистрации следующих сигналов:

- давление входное минимальное;
- давление выходное максимальное.

При этом выполняются следующие действия:

- включается световая и звуковая сигнализация;
- закрывается входной кран ГРС;
- закрываются выходные краны ГРС;
- САУ ГРС переводится в ручной режим.

Помимо алгоритма аварийного останова ГРС со стравливанием газа в данной магистерской диссертации был разработан алгоритм пуска ГРС. Данный алгоритм исключит воздействие человеческого фактора при пуске ГРС после аварийного останова. Оператор ГРС со своего рабочего места или диспетчер

Томского ЛПУМГ смогут с помощью одной кнопки запустить ГРС. Им не нужно будет последовательно выполнять список команд на открытие и закрытие необходимых кранов.

### **5.1 Разработка алгоритма пуска ГРС**

В приложении Г представлена блок-схема алгоритма пуска ГРС. Блок-схема выполнена в соответствии с ГОСТ 19.701-90 [41]. Алгоритм запускается при нажатии кнопки «Пуск ГРС».

Сначала проверяется закрытие крана № 121 на свече высокого давления. После чего, проверяются на закрытие краны на свечах низкого давления (кран № 106 на линии ТПП, кран № 107 на линии ТНХК и кран № 108 на линии ТЭЦ-3). Если краны открыты, то диспетчеру Томского ЛПУМГ или оператору ГРС на экран приходит сообщение об ошибке запуска ГРС. После чего, происходит аварийный останов газораспределительной станции.

Для того, чтобы не повредить лопасти счетчика, расположенного на линии ТПП, перед запуском ГРС необходимо открыть кран № 99 на байпасной линии счетчика газа. Далее, необходимо проверить, чтобы выходной (№ 98) и входной (№ 97) краны счетчика газа были закрыты. После того, как все свечные краны и кран на байпасе будут закрыты, открывается выходной кран на линии ТПП № 47. После открытия выходного крана, открываются входные краны на линии ТПП № 32, № 34 и № 36.

Далее, необходимо запустить линию ТНХК. Для этого открывается выходной кран № 46 и после открываются входные краны № 26, № 28 и № 30. Для запуска линии ТЭЦ-3 открывается выходной кран № 42 и после открываются входные краны № 16, № 18, № 20, № 22 и № 24.

Далее, открывается общий входной кран № 1. После этих действий газ начнет поступать потребителям. Следующим шагом необходимо открыть краны до и после счетчика № 97 и № 98, соответственно. После, закрывается кран № 99

на байпасе счетчика газа. Это сделано для того, чтобы резким напором газа не повредило лопасти счетчика. После данных действий происходит перевод ГРС в автоматический режим.

При возникновении ошибки при открытии или закрытии какого-либо крана формируется сообщение об его неисправности. Если кран на свече одной из линий потребителя не закрылся, или не открылись все входные краны одной из линий в узле редуцирования, то формируется сообщение о неисправности соответствующей линии.

## **5.2 Разработка алгоритма аварийного останова ГРС со стравливанием газа**

В приложении Д представлена блок-схема алгоритма аварийного останова ГРС. Блок-схема выполнена в соответствии с ГОСТ 19.701-90 [41].

Диспетчер Томского ЛПУМГ имеет возможность выбрать режим работы станции: автоматический или ручной. Обычно станция находится в автоматическом режиме. Если оператору ГРС или диспетчеру необходимо остановить только одну линию потребителя, то они переводят станцию в ручной режим. На мнемосхеме им необходимо нажать соответствующую кнопку. После выбора потребителя, которого необходимо временно отключить от подачи газа, на экран всплывает окно, в котором необходимо выбрать, какой режим останова будет выполнен: со стравливанием газа или без стравливания.

После выбора режима останова начинаются последовательно выполняться действия в соответствующей ветви блок-схемы алгоритма. При выборе потребителя ТПП включается звонок громкого боя, который оповещает обслуживающий персонал, находящийся на территории ГРС, об аварийном останове станции или отдельной ее линии.

Закрываются входные краны № 32, № 34 и № 36, находящиеся в узле редуцирования. После этого, закрывается выходной кран № 47 линии потребителя ТПП. В зависимости от выбора режима останова выполняются дальнейшие действия в разработанном алгоритме. При выборе режима без стравливания газа на экран диспетчера Томского ЛПУМГ выводится сообщение о том, что линия ТПП отключена.

Если ранее был выбран режим со стравливанием газа, то для обеспечения целостности лопастей счетчика открывается кран № 99 на байпассе счетчика газа, после чего, закрываются входной (№ 97) и выходной (№ 98) краны счетчика. Открывается кран на свече № 106. После открытия и закрытия необходимых кранов формируется сообщение о том, что линия ТПП отключена.

При возникновении ошибки при открытии или закрытии кранов на экран выводится сообщение о неисправности соответствующего крана, а также сообщение об ошибке останова линии ТПП.

При выборе останова потребителя ТНХК включается звонок громкого боя, закрываются входные краны в узле редуцирования № 26, № 28 и № 30, закрывается выходной кран № 46 данной линии. Далее, если ранее был выбран режим со стравливанием газа, то открывается свечной кран № 107. После чего, на экран выводится сообщение о том, что линия ТНХК отключена.

Для линии потребителя ТЭЦ-3 алгоритм идентичен.

Помимо отключения одного потребителя, диспетчер или оператор ГРС могут отключить всю станцию, то есть всех трех потребителей газа. В данном случае также включается звонок громкого боя, закрывается общий входной кран № 1, закрываются выходные краны трех линий потребителей № 42, № 46 и № 47. Далее, в зависимости от режима останова, открывается кран на байпассе счетчика газа № 99, и закрываются входной и выходной кран № 97 и № 98 счетчика. Также открываются краны на свечах низкого давления № 106, № 107 и № 108, а также кран на свече высокого давления № 121. После успешного выполнения всех действий ГРС будет переведена в ручной режим. При возникновении

неисправности на любом шаге алгоритма на экран диспетчера будет выведено сообщение об ошибке аварийного останова ГРС.

Если станция находится в автоматическом режиме, то аварийный останов может произойти как без стравливания газа, так и со стравливанием. Стравливание газа происходит при возникновении загазованности в любом узле или помещении, находящемся на газораспределительной станции, а также при возникновении пожара. Данный алгоритм идентичен останову ГРС в ручном режиме со стравливанием газа.

В том случае, если выходное давление превышает рабочее на 15 % (рабочее давление для потребителя ТПП – 0,3 МПа, для ТНХК – 0,6 МПа, для ТЭЦ-3 – 1,2 МПа), а также входное давление меньше на 15 %, то запускается алгоритм аварийного останова ГРС без стравливания газа. Данный алгоритм идентичен останову ГРС в ручном режиме без стравливания газа.

При фиксировании превышения или понижения давления электроконтактными манометрами, находящимися на выходе узла редуцирования на каждой линии потребителя, при помощи беспроводных преобразователей дискретного сигнала *Rosemount 702* информация передается в САУ ГРС. После запускается алгоритм останова линии потребителя без стравливания газа, который идентичен алгоритму, запущенному диспетчером Томского ЛПУМГ или оператором ГРС в ручном режиме.

### **5.3 Описание тэгов**

Каждый элемент управления и контроля должен иметь свой идентификатор (тэг), который представляет собой символьную строку. Такая строка представляется в специальном формате. Пусть структура шифра для сигналов от датчиков имеет следующий вид: «*AAAB\_C*», где

1) *AAA* – параметр, состоящий из 3-ех или 2-ух символов, принимающих следующие значения:

*PGS* – сигнализация о повышении или понижении давления газа;

*PT* – давление газа;

*QT* – загазованность;

*BA* – светозвуковой оповещатель;

3) *B* – номер датчика на функциональной схеме автоматизации;

4) *C* – идентификатор сигнализации (только для электроконтактных манометров и газоанализаторов), который может принимать значения:

*H* – сигнализация по верхнему уровню;

*HH* – аварийная сигнализация по верхнему уровню;

*L* – сигнализация по нижнему уровню.

Структура шифра для кранов принимает следующий вид: «*AB\_C*», где

1) *A* – идентификатор трубопроводной арматуры. В данном случае используются только краны, поэтому идентификатор будет принимать только одно значение «*K*»;

2) *B* – номер крана в функциональной схеме автоматизации;

3) *C* – идентификатор положение крана, состоящий из одной буквы, которая может принимать значение:

*O* – открыт;

*C* – закрыт.

Для управляющих сигналов на открытие или закрытие крана в шифре «*AB\_C*» перед идентификатором «*C*» добавляется символ «*U*».

Следовательно, шифр примет вид: «*AB\_UC*». В данном случае идентификатор «*C*» может принимать два значения:

*O* – открыть;

*C* – закрыть.

Управляющие сигналы на включение светозвуковых оповещателей обозначаются, как «*AA.B*».

Перечень входных и выходных сигналов, в котором указаны обозначения переменных, их тип и описание, представлен в таблице 5.1.



Таблица 5.1 – Перечень сигналов

Обозначение (тэг)	Тип данных	Описание
<i>PGS22_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация о превышении давления газа на линии ТЭЦ-3 на выходе узла редуцирования газа
<i>PGS22_L</i>	<i>bool</i>	Сигнализация о понижении давления газа на линии ТЭЦ-3 на выходе узла редуцирования газа
<i>PGS23_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация о превышении давления газа на линии ТНХК на выходе узла редуцирования газа
<i>PGS23_L</i>	<i>bool</i>	Сигнализация о понижении давления газа на линии ТНХК на выходе узла редуцирования газа
<i>PGS24_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация о превышении давления газа на линии ТПП на выходе узла редуцирования газа
<i>PGS24_L</i>	<i>bool</i>	Сигнализация о понижении давления газа на линии ТПП на выходе узла редуцирования газа
<i>PT2</i>	<i>real</i>	Измерение давления газа на входе ГРС
<i>PT30</i>	<i>real</i>	Измерение давления газа на выходе линии ТПП
<i>PT31</i>	<i>real</i>	Измерение давления газа на выходе линии ТНХК
<i>PT32</i>	<i>real</i>	Измерение давления газа на выходе линии ТЭЦ-3
<i>QT14</i>	<i>real</i>	Измерение <i>CH4</i> в узле хроматографа
<i>QT14_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация первого порога <i>CH4</i> в узле хроматографа
<i>QT14_HH</i>	<i>bool</i>	Сигнализация второго порога <i>CH4</i> в узле хроматографа
<i>QT17</i>	<i>real</i>	Измерение <i>CH4</i> в котельной
<i>QT17_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация первого порога <i>CH4</i> в котельной
<i>QT17_HH</i>	<i>bool</i>	Сигнализация второго порога <i>CH4</i> в котельной
<i>QT18</i>	<i>real</i>	Измерение <i>CH4</i> в узле редуцирования газа на собственные нужды
<i>QT18_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация первого порога <i>CH4</i> в узле редуцирования газа на собственные нужды
<i>QT18_HH</i>	<i>bool</i>	Сигнализация второго порога <i>CH4</i> в узле редуцирования газа на собственные нужды
<i>QT19</i>	<i>real</i>	Измерение <i>CH4</i> в узле редуцирования газа
<i>QT19_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация первого порога <i>CH4</i> в узле редуцирования газа
<i>QT19_HH</i>	<i>bool</i>	Сигнализация второго порога <i>CH4</i> в узле редуцирования газа
<i>QT20</i>	<i>real</i>	Измерение <i>CH4</i> в узле редуцирования газа
<i>QT20_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация первого порога <i>CH4</i> в узле редуцирования газа
<i>QT20_HH</i>	<i>bool</i>	Сигнализация второго порога <i>CH4</i> в узле редуцирования газа
<i>QT21</i>	<i>real</i>	Измерение <i>CH4</i> в узле редуцирования газа
<i>QT21_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация первого порога <i>CH4</i> в узле редуцирования газа
<i>QT21_HH</i>	<i>bool</i>	Сигнализация второго порога <i>CH4</i> в узле редуцирования газа
<i>QT28</i>	<i>real</i>	Измерение <i>CH4</i> в узле переключений
<i>QT28_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация первого порога <i>CH4</i> в узле переключений
<i>QT28_HH</i>	<i>bool</i>	Сигнализация второго порога <i>CH4</i> в узле переключений
<i>QT29</i>	<i>real</i>	Измерение <i>CH4</i> в узле переключений
<i>QT29_H</i>	<i>bool</i>	Сигнализация первого порога <i>CH4</i> в узле переключений
<i>QT29_HH</i>	<i>bool</i>	Сигнализация второго порога <i>CH4</i> в узле переключений
<i>VA13</i>	<i>bool</i>	Включение светозвукового оповещателя
<i>VA33</i>	<i>bool</i>	Включение светозвукового оповещателя
<i>K1_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 1 открыт
<i>K1_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 1 закрыт
<i>K1_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 1
<i>K1_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 1
<i>K16_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 16 открыт
<i>K16_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 16 закрыт
<i>K16_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 16
<i>K16_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 16
<i>K18_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 18 открыт
<i>K18_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 18 закрыт

Продолжение таблицы 5.1

Обозначение (тэг)	Тип данных	Описание
<i>K18_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 18
<i>K18_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 18
<i>K20_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 20 открыт
<i>K20_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 20 закрыт
<i>K20_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 20
<i>K20_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 20
<i>K22_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 22 открыт
<i>K22_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 22 закрыт
<i>K22_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 22
<i>K22_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 22
<i>K24_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 24 открыт
<i>K24_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 24 закрыт
<i>K24_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 24
<i>K24_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 24
<i>K26_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 26 открыт
<i>K26_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 26 закрыт
<i>K26_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 26
<i>K26_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 26
<i>K28_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 28 открыт
<i>K28_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 28 закрыт
<i>K28_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 28
<i>K28_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 28
<i>K30_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 30 открыт
<i>K30_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 30 закрыт
<i>K30_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 30
<i>K30_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 30
<i>K32_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 32 открыт
<i>K32_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 32 закрыт
<i>K32_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 32
<i>K32_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 32
<i>K34_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 34 открыт
<i>K34_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 34 закрыт
<i>K34_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 34
<i>K34_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 34
<i>K36_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 36 открыт
<i>K36_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 36 закрыт
<i>K36_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 36
<i>K36_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 36
<i>K42_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 42 открыт
<i>K42_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 42 закрыт
<i>K42_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 42
<i>K42_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 42
<i>K46_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 46 открыт
<i>K46_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 46 закрыт
<i>K46_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 46
<i>K46_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 46
<i>K47_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 47 открыт
<i>K47_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 47 закрыт
<i>K47_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 47
<i>K47_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 47
<i>K97_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 97 открыт
<i>K97_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 97 закрыт

Продолжение таблицы 5.1

Обозначение (тэг)	Тип данных	Описание
<i>K97_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 97
<i>K97_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 97
<i>K98_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 98 открыт
<i>K98_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 98 закрыт
<i>K98_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 98
<i>K98_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 98
<i>K99_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 99 открыт
<i>K99_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 99 закрыт
<i>K99_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 99
<i>K99_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 99
<i>K106_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 106 открыт
<i>K106_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 106 закрыт
<i>K106_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 106
<i>K106_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 106
<i>K107_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 107 открыт
<i>K107_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 107 закрыт
<i>K107_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 107
<i>K107_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 107
<i>K108_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 108 открыт
<i>K108_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 108 закрыт
<i>K108_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 108
<i>K108_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 108
<i>K121_O</i>	<i>bool</i>	Кран № 108 открыт
<i>K121_C</i>	<i>bool</i>	Кран № 108 закрыт
<i>K121_UO</i>	<i>bool</i>	Открыть кран № 108
<i>K121_UC</i>	<i>bool</i>	Закрыть кран № 108

В приложении Ж представлена причинно-следственная матрица аварийного останова газораспределительной станции Томской ПП. В столбцах данной таблицы указаны номера кранов и сигналы управления, которые в результате выполнения алгоритма, будут задействованы на данные краны. В строках указаны причины, по которым произойдет активация алгоритма аварийного останова газораспределительной станции. Такие причины включают в себя: превышение или понижение давления газа на любой линии потребителя на выходе узла редуцирования газа, понижение давления газа на входе газораспределительной станции, превышение давления газа на выходе ГРС на любой из линий потребителя, а также возникновение второго порога загазованности по метану в любом из узлов или помещений ГРС.

Для понимания того, какие действия будут выполнены при возникновении какой-либо причины, необходимо посмотреть на пересечение строки возникшей причины и столбцов. Например, при регистрации второго

порога загазованности в узле переключений произойдет закрытие входного крана ГРС, закрытие выходных кранов всех линий потребителей, закрытие входного и выходного кранов счетчика газа на линии ТПП, а также открытие байпаса счетчика газа и открытие свечных кранов высокого и низкого давления.

Все представленные в причинно-следственной матрице действия можно наблюдать в алгоритме аварийного останова газораспределительной станции в приложении Д.

## 6 Анализ полученных результатов

В данной магистерской диссертации был проведен анализ перспективной технологии управления газораспределительной станцией на основе автономных контрольно-измерительных приборов.

Рассматриваемые в работе приборы могут образовывать беспроводную сенсорную сеть, обладающую атрибутами самоорганизации и самовосстановления. Благодаря самовосстановлению, после сбоя сенсорных узлов или каналов связи сеть восстанавливается, и после того, как она самоорганизуется, необходимые связи будут налажены, и беспроводная сенсорная сеть может выполнять свою функцию на приемлемом уровне. Если в сети обнаружено препятствие, приборы автоматически определяют оптимальный альтернативный маршрут, который будет немедленно создан и передача информации возобновится.

Рассматриваемая в работе сеть имеет динамическую топологию, которая обеспечивает надежное функционирование в автоматическом режиме, а также упрощает развертывание, расширение и перенастройку сети. Благодаря этому, не требуется экспертных знаний в области беспроводных технологий, приборы автоматически находят наиболее удобные каналы связи.

При выборе автономных датчиков акцент был направлен на наличие динамической топологии, наличие взрывозащищенной оболочки, диапазон температуры окружающей среды, а также наличие широкой линейки приборов одной фирмы. После анализа автономных приборов нескольких компаний, являющихся крупнейшими поставщиками данных датчиков в мире, выбор был сделан в пользу компании «*Emerson*». Выбранные автономные сенсоры имеют взрывонепроницаемую оболочку, а также пригодны для применения в районах с низкими температурами. После установки необходимых автономных контрольно-измерительных приборов на газораспределительной станции система, которую они все вместе образуют, автоматически обнаруживает

шлюз и беспроводные датчики. Это является залогом быстрого и простого ее ввода в эксплуатацию. Беспроводная сеть, построенная посредством автономных контрольно-измерительных приборов, позволит персоналу упреждать нежелательные события на газораспределительной станции, а не устранять их последствия. Обслуживание будет направлено на восстановление неисправного оборудования, а не на ремонт корректно функционирующего. С помощью модуля беспроводной связи *Rosemount 775* имеется возможность модернизировать приборы с поддержкой *HART*-протокола, уже установленные на ГРС, в рамках системы *WirelessHART*. Благодаря данной системе предоставляется беспроводной доступ к диагностическим и технологическим данным, которые ранее были недоступны.

Помимо положительных сторон, технология усовершенствованного управления транспортом газа потребителю на основе автономных контрольно-измерительных приборов имеет и отрицательные стороны.

Внедрение данной технологии на существующую газораспределительную станцию является дорогостоящим. Отсутствие опыта применения автономных приборов в компании ООО «Газпром трансгаз Томск» также осложнит применение и обслуживание системы на ранних этапах ее работы. Помимо этого, наличие большого количества труб и стен блок-боксов ослабит передачу сигнала от беспроводных сенсоров до шлюза. Предполагается, что наличие динамической топологии исключит данную проблему. Ежегодно для участка КИПиА выделяется фиксированная сумма для покупки необходимого оборудования и инструментов. Ввиду того, что батареи беспроводных датчиков необходимо менять через определенное количество лет, большая часть выделенных средств будет затрачена именно для обеспечения питания сенсоров. Из этого следует, что на остальное оборудование будет выделено меньше средств. Выходом из данной ситуации является повышение ежегодной суммы для покупки необходимых материалов и оборудования.

По результатам магистерской диссертации было выявлено, что применять автономные контрольно-измерительные приборы лучше на временных или новых проектируемых ГРС. При применении данной технологии на временных станциях обслуживающему персоналу достаточно будет разместить беспроводные приборы, установить шлюз, добавить приборы к сети, и станция уже будет готова для ввода в эксплуатацию.

Еще одной задачей данной работы являлось разработка алгоритмов пуска ГРС и аварийного останова без стравливания газа, которая реализуется с помощью беспроводных контрольно-измерительных приборов. Внедрение данных алгоритмов в систему позволит уменьшить человеческий фактор при возникновении аварийной ситуации на ГРС, а также уменьшится время реагирования на данную аварию, что позволит избежать возникновения взрыва или прерывания технологического процесса.

## 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 7.1 Организация и планирование работ

Составим перечень этапов и работ в рамках проектирования беспроводной технологии автоматизированного управления газораспределительной системы, проведем распределение исполнителей по видам работ. В таблице 7.1 представлен данный перечень.

Таблица 7.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100 %
Составление и утверждение ТЗ	НР, С	НР – 100 % С – 10 %
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, С	НР – 30 % С – 100 %
Разработка календарного плана	НР, С	НР – 100 % С – 10 %
Обсуждение литературы	НР, С	НР – 30 % С – 100 %
Выбор беспроводных интеллектуальных датчиков, шлюзов, преобразователей сигнала	НР, С	НР – 30 % С – 100 %
Разработка функциональной схемы автоматизации	С	С – 100 %
Разработка структурной схемы, схемы информационных потоков	С	С – 100 %
Разработка экранных форм	С	С – 100 %
Разработка алгоритмов управления технологическим процессом	С	С – 100 %
Составление раздела «Социальная ответственность»	С	С – 100 %
Составление раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	С	С – 100 %
Проверка работы с руководителем	НР, С	НР – 50 % С – 100 %
Составление пояснительной записки	С	С – 100 %
Подготовка презентации магистерской диссертации	НР, С	НР – 10 % С – 100 %

Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ  $t_{ож}$  используется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3*t_{min} + 2*t_{max}}{5}, \quad (7.1)$$



где  $t_{ож}$  – ожидаемое значение продолжительности работ, дн.;  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;  $t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} * K_{Д}, \quad (7.2)$$

где  $T_{РД}$  – продолжительность работы, дн.;  $K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности,  $K_{ВН} = 1$ ;  $K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ, в частности,  $K_{Д} = 1,2$ .

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} * T_{К}, \quad (7.3)$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;  $T_{К}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205, \quad (7.4)$$

где  $T_{КАЛ}$  – календарные дни, в частности,  $T_{КАЛ} = 365$ ;  $T_{ВД}$  – выходные дни, в частности,  $T_{ВД} = 52$ ;  $T_{ПД}$  – праздничные дни, в частности,  $T_{ПД} = 10$ .




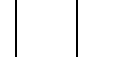













В таблице 7.2 приведено определение продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.


Таблица 7.2 – Трудозатраты на выполнение проекта


Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	С	НР	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	4	2,8	3,36	–	4,05	–
Составление и утверждение ТЗ	НР, С	2	3	2,4	2,88	0,29	3,47	0,35
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, С	12	15	13,2	4,75	15,84	5,72	19,09
Разработка календарного плана	НР, С	2	4	2,8	3,36	0,34	4,05	0,41
Обсуждение литературы	НР, С	3	6	4,2	1,51	5,04	1,82	6,07
Выбор беспроводных интеллектуальных датчиков, шлюзов, преобразователей сигнала	НР, С	7	14	9,8	3,53	11,76	4,25	14,17
Разработка функциональной схемы автоматизации	С	6	9	7,2	–	8,64	–	10,41
Разработка структурной схемы, схемы информационных потоков	С	5	7	5,8	–	6,96	–	8,39
Разработка экранных форм	С	3	8	5	–	6	–	7,23
Разработка алгоритмов управления технологическим процессом	С	4	8	5,6	–	6,72	–	8,1
Составление раздела «Социальная ответственность»	С	2	4	2,8	–	3,36	–	4,05
Составление раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	С	2	4	2,8	–	3,36	–	4,05
Проверка работы с руководителем	НР, С	3	5	3,8	2,28	4,56	2,75	5,49
Составление пояснительной записки	С	5	6	5,4	–	6,48	–	7,81
Подготовка презентации магистерской диссертации	НР, С	2	4	2,8	0,34	3,36	0,41	4,05
Итого:				76,4	22,01	82,71	26,52	99,67

На основе таблицы 7.2 построим линейный график осуществления проекта (таблица 7.3).

Таблица 7.3 – Линейный график работ

Этап	НР	С	Продолжительность выполнения работ													
			Февраль			Март			Апрель			Май				
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		
Постановка целей и задач, получение исходных данных	4,05	–														
Составление и утверждение ТЗ	3,47	0,35														
Подбор и изучение материалов по тематике	5,72	19,09														
Разработка календарного плана	4,05	0,41														
Обсуждение литературы	1,82	6,07														
Выбор беспроводных интеллектуальных датчиков, шлюзов, преобразователей сигнала	4,25	14,17														
Разработка функциональной схемы автоматизации	–	10,41														
Разработка структурной схемы, схемы информационных потоков	–	8,39														
Разработка экранных форм	–	7,23														
Разработка алгоритмов управления технологическим процессом	–	8,1														
Составление раздела «Социальная ответственность»	–	4,05														
Составление раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	–	4,05														
Проверка работы с руководителем	2,75	5,49														
Составление пояснительной записки	–	7,81														
Подготовка презентации магистерской диссертации	0,41	4,05														

 – Студент

 – Руководитель

## 7.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

### 7.2.1. Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40000 рублей, включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи. В таблице 7.4 представлен расчет затрат на материалы.

Таблица 7.4 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	200	1 уп.	200
Картридж для принтера	1500	1 шт.	1500
Лицензия <i>Microsoft Office</i> 2013	2000	1 экз.	2000
Итого:			3700

Транспортно-заготовительные расходы составляют 5 % от отпускной цены материалов, следовательно, расходы на материалы с учетом транспортно-заготовительных расходов равны:

$$C_{\text{мат}} = 3700 * 1,05 = 3885 \text{ руб.} \quad (7.5)$$

### 7.2.2. Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и студента, а также премии, входящие в фонд заработной платы.

Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{дн-т}$ ) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = MO/25,083, \quad (7.6)$$

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 7.2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{ПР} = 1,1$ ;  $K_{доп.ЗП} = 1,188$ ;  $K_p = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_{и} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$ .

Затраты на заработную плату представлены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33664	1342,09	22	1,699	50164,64
С	15470	616,75	83	1,699	86972,23
Итого:					137136,87

### 7.2.3. Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог, включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту:

$$C_{соц} = C_{зп} * 0,3 = 137136,87 * 0,3 = 41141 \text{ руб.} \quad (7.7)$$

#### 7.2.4. Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} * t_{\text{об}} * Ц_{\text{Э}}, \quad (7.8)$$

где  $P_{\text{об}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;  $Ц_{\text{Э}}$  – тариф на 1 кВт·час;  $t_{\text{об}}$  – время работы оборудования, час.

Для ТПУ  $Ц_{\text{Э}} = 6,59$  руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 7.2 для студента ( $T_{\text{РД}}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов вычисляется по формуле:

$$t_{\text{об}} = T_{\text{РД}} * K_t, \quad (7.9)$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{\text{РД}}$ , примем  $K_t = 1$ .

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{НОМ}} * K_c, \quad (7.10)$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;  $K_c \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности  $K_c = 1$ .

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$ , час	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$ , кВт	Затраты $Z_{\text{эл}}$ , руб
Персональный компьютер	664	0,3	1312,73
Струйный принтер	10	0,1	6,59
Итого:			1319,32

### 7.2.5. Расчет амортизационных расходов

В данной статье рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A * C_{об} * t_{рф} * n}{F_d}, \quad (7.11)$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования, равная 2,5 года;  $C_{об}$  – балансовая стоимость единицы оборудования, равная 30000 руб;  $F_d$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, равный  $298 * 8 = 2384$  часа;  $t_{рф}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения работы, равное 664 часа;  $n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Расчет амортизационных расходов представлен в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Расчет амортизационных расходов

Наименование оборудования	Значение срока амортизации оборудования $C_A$ , год	$H_A = 1/C_A$	$C_{об}$ , руб	$F_d$ , час	$t_{рф}$ , час	$n$	$C_{AM}$ , руб
Персональный компьютер	2,5	0,4	30000	2384	664	1	3342,28
Струйный принтер	2	0,5	3000	500	30	1	90
Итого:							3432,28

### 7.2.6. Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных документов

В данную статью относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – 100 руб./день. Время пребывания в командировке составило 50 календарных дней (с учетом дней приезда и отъезда);

оплата проживания в общежитии 50 руб./день \* 45 дней = 2250 руб.; оплата проезда по ж/д в обе стороны – 4720 руб.; аренда специальных приборов – 4200 руб.; почтовые расходы – 240 руб.; консалтинговые услуги – 1500 руб. Итого по данному пункту

$$C_{\text{нп}} = (50 - 1) * 100 + 2250 + 4720 + 4200 + 240 + 1500 = 17810 \text{ руб.} \quad (7.12)$$

### 7.2.7. Расчет прочих расходов

В данной статье отражены расходы на выполнение работы, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10 % от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) * 0,1 = (3885 + 137136,87 + 41141 + 1319,32 + 5817,23 + 17810) * 0,1 = 20710,94 \text{ руб.} \quad (7.13)$$

### 7.2.8. Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость работы. Определение бюджета затрат по каждому варианту исполнения приведен в таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Смета затрат на разработку проекта

Наименование статьи	Условное обозначение	Сумма, руб
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	3885
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	137136,87
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	41141
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1319,32
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	3432,28
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	17810
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	20710,94
Итого:		225435,41

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 225435,41$  рублей.



### **7.2.9. Расчет прибыли**

Прибыль примем в размере 20 % от полной себестоимости проекта. Таким образом, прибыль составит  $225435,41 * 0,2 = 45087,08$  рублей.

### **7.2.10. Расчет НДС**

НДС составляет 20 % от суммы затрат на разработку и прибыли. Таким образом, НДС составит  $(225435,41 + 45087,08) * 0,2 = 54104,5$  рублей.

### **7.2.11. Цена разработки магистерской диссертации**

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС. Таким образом, цена разработки магистерской диссертации составит:

$$C_{\text{мд}} = 225435,41 + 45087,08 + 54104,5 = 324626,99 \text{ руб.} \quad (7.14)$$

## **7.3 Определение срока окупаемости инвестиций (PP – payback period)**

Данный показатель определяет продолжительность того периода, через который инвестиции будут возвращены полученной благодаря им прибылью.

Представленная работа носит исключительно исследовательский характер, поскольку полученный результат не доведен до степени готовности к конкретному технологическому применению и требует уточнения и дополнительных затрат на последующих стадиях проектирования. В связи с этим, оценка его экономической эффективности на данном этапе некорректна.

#### **7.4 Выводы по разделу**

В результате выполнения данного раздела был построен план-график выполнения магистерской диссертации, а также составлена соответствующая смета затрат.

Ввиду того, что данная работа носит исследовательский характер, то определение срока окупаемости инвестиций представленного проекта не представляется возможным. Однако, в результате внедрения беспроводной технологии на газораспределительной станции Томского ЛПУМГ уменьшится число отказов, связанных с обрывами кабельных линий, неисправностями с аналоговыми и дискретными модулями ввода/вывода, а также появится возможность использовать датчики с самодиагностикой, что увеличит надежность всей системы, путем заблаговременной передачи информации об их состоянии. На основании изложенных преимуществ разработка проекта «Применение беспроводной технологии автоматизированного управления газораспределительной системы» является целесообразной.

## **8 Социальная ответственность**

Объектом исследования является рабочее место оператора газораспределительной станции. Газораспределительная станция представляет собой совокупность установок и технического оборудования, измерительных и вспомогательных систем распределения газа и регулирования его давления. Рабочее место представляет собой АРМ оператора ГРС, находящийся в отдельном помещении размером 5 на 6 метра и высотой 2,5 метра. Непосредственное управление и контроль за технологическим процессом на станции осуществляется оператором с данного АРМа.

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

В России охрана труда является одним из важнейших экологических, санитарно-гигиенических и социально-экономических мероприятий, направленных на обеспечение здоровых и безопасных условий труда.

Основная цель правил охраны труда и техники безопасности на предприятии – это сохранение здоровья работников, а также обеспечение роста производительности труда и экологической безопасности.

Главными законодательными документами, лежащими в основе трудового законодательства и охраны труда, являются:

1) Конституция РФ (ст. 7. п. 2. «В РФ охраняется труд и здоровье людей...», п. 3. «Каждый человек имеет право на безопасный труд...», ст. 39, ст. 41, ст. 42, ст. 52, ст. 58.);

2) Основное законодательство РФ об охране труда (ст. 3, ст. 4, ст. 5, ст. 9, ст. 20);

3) ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999г. №52-ФЗ (ст. 25, ст. 26, ст. 27, ст. 34, ст. 55);

4) ФЗ РФ от 10.01.2002г №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ст. 11).

## **8.2 Производственная безопасность**

Результатом выполнения работы является беспроводная технология автоматизированного управления газораспределительной станции Томского ЛПУМГ. Для обеспечения данной технологии были использованы беспроводные интеллектуальные датчики давления и температуры газа, уровня одоранта и метанола, беспроводные интеллектуальные датчики горючих газов, а также беспроводные преобразователи сигнала и беспроводные шлюзы. Для дистанционного управления шаровыми кранами используются блоки управления. Все показания с датчиков, а также показания положения затворов кранов передаются на АРМ оператора.

Основными вредными и опасными производственными факторами на рабочем месте являются электрический ток и ядовитые химические вещества.

Источником поражения электрическим током могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, поврежденный электропривод, незаземленное оборудование.

Примером ядовитого химического вещества является одорант. При попадании одоранта на кожу или в легкие при вдыхании возможен химический ожог.

В процессе работы на ГРС возможно возникновение следующих аварийных ситуаций:

- разгерметизация газопроводов;
- пожар;
- взрыв.

Рассмотрим такой опасный производственный фактор на газораспределительной станции, как электрический ток.

Когда человеческий организм вступает в контакт с источником напряжения, происходит поражение электрическим током. Коснувшись проводника, находящегося под напряжением, человек становится частью электросети, по которой начинает протекать электрический ток. Как известно, организм человека состоит из большого количества жидкости и солей. Это является хорошим проводником электричества, поэтому исход действия электрического тока на организм человека может быть летальным.

В данном проекте, благодаря беспроводной технологии, внутри блоков ГРС, а также между ними от датчиков до шкафа САУ ГРС отпадает необходимость использования кабеля. Но от исполнительных механизмов и от беспроводных шлюзов до клеммных коробок и шкафа САУ ГРС все-таки пролегают кабельные линии. Именно они могут послужить для человека проводником, находящимся под напряжением.

Чтобы этого избежать, на ГРС использует такой контрольный кабель, что все медные токопроводящие жилы находятся в изоляции из поливинилхлоридного пластика. Наличие изоляции предотвращает замыкание между ними. Помимо этого, в состав кабеля входит броня из двух стальных оцинкованных лент. При проведении ремонтных работ или прокладки дополнительного кабеля стальные оцинкованные ленты защищают кабель от механических повреждений, что предотвращает потерю переданной информации от исполнительных механизмов на АРМ оператора.

Также поражение электрическим током возможно при контакте человека с датчиками и исполнительными механизмами. Во избежание этого, все оборудование на существующей газораспределительной станции заземлено.

Не менее опасным производственным фактором на газораспределительной станции является одорант.

Природный газ (метан) изначально не имеет запаха, поэтому любая их утечка из закрытой системы может быть обнаружена только специальными датчиками. Поскольку такие газы, широко применяемые на промышленных

объектах и в быту, в случае утечки могут вызвать сильные отравления и, кроме того, при определенных концентрациях создают взрывоопасную среду, возникает потребность оперативного выявления наличия газа в окружающем воздухе без применения специальных технических устройств.

С давних пор в России и в зарубежных странах эту проблему решают путем добавления в газ веществ, имеющих резко выраженный запах, присутствие которого должно означать наличие утечек в системах газопровода или газового оборудования. Такие вещества, придающие газу специфический запах, называют одорантом, а процесс их ввода в поток газа – одоризацией газа. Одоризация природного газа производится, как правило, на газораспределительных станциях (перед подачей газа потребителям) или на централизованных одоризационных пунктах.

Действие одоранта на организм человека проявляется следующим образом: при концентрации 0,001-0,002 мг/л и вдыхании в течении 5 минут работоспособность нарушается, пары вызывают рефлекторную тошноту и головную боль вследствие отвратительного запаха. В более высоких концентрациях влияет на нервную систему, а также обладает наркотическим эффектом, характеризующимся особой мышечной скованностью.

Наличие емкости хранения одоранта на газораспределительной станции повышает такой риск возникновения опасной ситуации, как его утечка. Причиной этому может являться коррозия, механический износ, механические повреждения емкости. На рисунке 8.1 представлен пример коррозии емкости хранения одоранта.



Рисунок 8.1 – Пример коррозии емкости хранения одоранта

Помимо емкости хранения одоранта на территории ГРС расположена емкость хранения метанола. Традиционным и основным методом борьбы с гидратообразованием в газовой промышленности является использование ингибитора гидратообразования – метанола.

Метанол представляет собой бесцветное летучее вещество, характеризующееся резким винным запахом и острым вкусом. Жидкость является ядовитой. Действие метанола на организм человека выражается в его способности быстро всасываться и очень медленно выводиться. Вещество оказывает негативное влияние, попав внутрь не только при проглатывании, но и при соприкосновении с кожным покровом, слизистыми оболочками и дыхательными путями.

Действие метанола на организм человека при вдыхании его паров происходит в 2 этапа:

- раздражение слизистой оболочки;
- заражение ядом кровеносной системы, а значит, и всего организма.

При попадании через лёгкие происходит системное отравление всего организма. Метанол мгновенно поражает зрительный нерв, раздражает слизистую оболочку глаз, возникает воспалительный процесс, сопровождаемый отёком и болью.

Благодаря дистанционной передачи сигнала от беспроводных датчиков уровня одоранта и метанола до АРМа оператора, помимо воздействия вредного фактора на организм работника, также воздействие электрического тока на него сводится к минимуму. Оператор может определить утечку, вследствие сильного понижения значения уровня на мнемосхеме, и принять необходимые меры.

На газораспределительной станции возможна утечка самого природного газа. Природный газ, как таковой, не является отравляющим веществом. Он практически не реагирует с органами и системами человека, но при взаимодействии с воздухом образует взрывоопасную смесь.

Благодаря наличию газоанализаторов и светозвуковых оповещателей, при утечке природного газа возникнет световой и звуковой сигнал в соответствующем блоке. Сигналы от газоанализаторов передаются на АРМ, в следствие чего, оператор сможет узнать об аварии, не находясь в периметре газораспределительной станции. Благодаря этому, работник будет защищен от возможного взрыва.

На газораспределительной станции существует алгоритм перехода станции на работу по байпасной линии при аварии. В случае превышения первого порога природного газа срабатывает светозвуковой оповещатель в соответствующем блоке, также на АРМ оператора передается соответствующий сигнал, кроме того, включается вентиляция для вытеснения метана из блока. При превышении второго порога природного газа происходит переход станции на байпасную линию. Оператор может отслеживать процесс открытия и закрытия шаровых кранов на мнемосхеме.

Благодаря автоматическому переходу на байпасную линию, полностью исключается действие человеческого фактора. Каким бы опытным не был работник, не исключена возможность неправильной перестановки им шаровых кранов, что может еще более усугубить ситуацию. Помимо человеческого фактора, автоматическая перестановка кранов занимает меньше времени, что позволяет незамедлительно принять меры по ликвидации чрезвычайной ситуации.

### **8.3 Эргономика и производственная эстетика**

Для минимизации вредных психофизиологических факторов, какими являются монотонность труда, эмоциональное и умственное напряжение, статические нагрузки, следует организовать рабочее место оператора ГРС, согласно требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [42]:



- расстояние между рабочими столами с видеомониторами должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м;
- экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии от 600 до 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;
- конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение используемого оборудования с учетом характера выполняемой работы;
- поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения от 0,5 до 0,7;
- конструкция рабочего стула должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПК, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины; тип рабочего стула выбирается с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПК.

На рисунке 8.2 представлены эргономические требования.

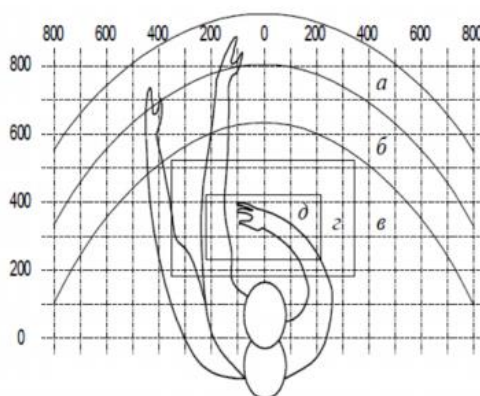


Рисунок 8.2 – Эргономические требования, где а – зона максимальной досягаемости; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальной пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для точной ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости согласно ГОСТ 12.2.032-78 [43]:

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

#### **8.4 Мероприятия по выполнению норм естественного и искусственного освещения**

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [44] системы естественного, искусственного и комбинированного освещения следует проектировать с учетом необходимости обеспечения на рабочих местах хорошей видимости информации на экране АРМ. При этом в поле зрения работающих необходимо обеспечивать оптимальные соотношения яркости рабочих и окружающих поверхностей, равномерность яркости, исключая наличие ярких и блестящих предметов.

В соответствии с санитарными нормами СНиП 23-05-95 [45] рекомендуемая искусственная освещенность для работ высокой точности на светлом фоне при большом контрасте, составляет от 200 до 500 лк. Рекомендуемый коэффициент естественной освещенности для кабинетов и рабочих комнат с боковым естественным освещением  $e = 0,6 \%$ .

В операторной газораспределительной станции Томской ПП освещенность достигается в дневное время за счет естественного света, проникающего через 3 оконных проема размером 2 на 1,5 м, а в утренние и вечерние часы – за счет искусственного освещения люминесцентными лампами.

Оценка уровня естественной освещенности помещения выполнялась при помощи вычисления коэффициента естественной освещенности, который определяется по формуле:

$$e = \frac{E_{вн}}{E_{нар}} * 100 \%, \quad (8.1)$$

где  $E_{\text{вн}}$  – освещенность в данной точке помещения, лк;  $E_{\text{нар}}$  – одновременная освещенность наружной точки, лк.

Значения  $E_{\text{вн}}$  и  $E_{\text{нар}}$  были определены с помощью люксметра непосредственно в операторной ГРС и на улице около окна помещения. По измеренным значениям было получено значение коэффициента естественной освещенности:

$$e = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} * 100 \% = \frac{2500}{16000} * 100 \% = 15,6 \%, \quad (8.2)$$

Из расчетов видно, что освещенность рабочего места выше, чем установленная нормами.

Определим искусственную освещенность рабочего места за счет общего освещения. Общее освещение осуществляется светильниками типа ОДОР (общего освещения диффузный с отверстиями в верхней части отражателя и с экранирующей решеткой). Они расположены в 3 ряда по 5 светильников, в каждом из которых установлены четыре лампы ЛД-20.

Помещение имеет прямоугольную форму размерами 5 на 6 метров и высотой 2,5 м. При расчете общего освещения используем метод светового потока. Необходимая освещенность рассчитывается по следующей формуле:

$$E = \frac{F * N * \eta}{S * z * k}, \quad (8.3)$$

где  $E$  – нормированная минимальная освещенность, лк;  $F = 880$  лм – световой поток для ЛД-20;  $N$  – число ламп в помещении;  $S$  – площадь освещаемого помещения;  $z$  – отношение средней освещенности к минимальной (обычно принимается равным 1,1–1,2; пусть  $z = 1,1$ );  $k = 1,5$  – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока, зависит от коэффициента отражения потолка  $p_n$  и стен  $p_c$ , высоты размещения светильников  $H$  и размеров помещения  $A$  и  $B$ . В зависимости от  $p_n$ ,  $p_c$  и показателей помещения определим индекс помещения:

$$I = \frac{A * B}{H * (A + B)} = \frac{5 * 6}{2,5 * (5 + 6)} = 1,09. \quad (8.4)$$

Для  $p_n = 70 \%$ ,  $p_c = 50 \%$ ,  $I = 1,1$ ,  $\eta = 0,31$ .

Подставим результаты в формулу для освещенности и получим:

$$E = \frac{880 \cdot 60 \cdot 0,31}{30 \cdot 1,1 \cdot 1,5} = 330,7 \text{ лк.} \quad (8.5)$$

Из расчетов видно, что искусственная освещенность рабочего места соответствует нормам.

## 8.5 Экологическая безопасность

Вследствие развития научно-технического прогресса, постоянно увеличивается возможность воздействия на окружающую среду, создаются предпосылки для возникновения экологических кризисов. Но наряду с этим появляются новые способы защиты от загрязнения, но данные технологии сложны и дороги.

Одна из самых серьезных проблем – потребление электроэнергии. С увеличением количества компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то, и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления приводит к экологическим нарушениям, таким как:

- изменение климата – накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект);
- загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами;
- загрязнение водного бассейна Земли;
- опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов.

Из этого можно сделать вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

При работе автоматизированных систем с диспетчерским управлением, возможны такие производственные отходы как макулатура и неисправные детали персональных компьютеров.

Бумажные изделия должны передаваться в соответствующие организации для дальнейшей переработки во вторичные бумажные изделия.

Неисправные комплектующие персональных компьютеров должны передаваться либо государственным организациям, осуществляющим вывоз и уничтожение бытовых и производственных отходов, либо организациям, занимающимся переработкой отходов. Вторым вариантом предпочтительней, т.к. переработка отходов является перспективной технологией сохранения природных ресурсов.

Из этого можно сделать вывод, что технологии, которые внедряются в системы диспетчерского контроля технологических объектов, должны быть направлены на снижение энергопотребления, а оборудование, применяемое на технологических объектах, должно включать в себя как можно больше материалов, которые подразумевают возможность вторичной обработки.

## **8.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайные ситуации могут быть техногенного, природного, биологического, социального или экологического характера. Пожары, взрывы, угроза взрывов относят к чрезвычайным ситуациям техногенного характера.

Основную долю аварий на ГРС составляют взрывы и пожары, которые на установках и сооружениях ГРС могут произойти в результате техногенных аварий, связанных с разгерметизацией оборудования или трубопроводов, и выходом в окружающее пространство природного газа, паров метанола или

конденсата газа, образующих с воздухом взрывоопасные смеси. При любых видах аварий во всех блоках ГРС может произойти взрыв при наличии источника инициирования воспламенения и взрывоопасной смеси в пределах взрывоопасной концентрации.

Пожарная безопасность предприятия должна соответствовать «Правилам противопожарной эксплуатации в газовой промышленности».

Незамерзающие пожарные гидранты на ГРС установлены на кольцевой водопроводной сети. Заданный напор воды в сети создают пожарные насосы, которые установлены на насосной станции. Здания и сооружения на производстве имеют уровень огнестойкости не ниже 2 степени.

На ГРС применяются следующие средства пожаротушения: огнетушители УК–30 (углекислотные), огнетушители ОП–10 (порошковые), пожарные гидранты, ящики с песком, пожарные щиты.

## **8.7 Выводы по разделу**

В данной главе были рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, с которыми можно столкнуться при проведении работ на газораспределительной станции Томского ЛПУМГ.

Автоматизированная система обеспечивает более безопасный и надежный режим работы. У оператора отсутствует необходимость постоянного пребывания в периметре газораспределительной станции благодаря дистанционной передачи показаний с датчиков и исполнительных механизмов на АРМ. Тем самым снижается вероятность воздействия чрезвычайной ситуации на работника.

Помимо защиты оператора от действия вредных производственных факторов с помощью аварийных алгоритмов происходит быстрое отключение газораспределительной станции путем перехода работы на байпасную линию на время проведения ремонтных работ и устранения последствий аварии.

На предприятиях компании ПАО «Газпром» существует вероятность техносферных катастроф или гибели персонала, благодаря этому, на предприятии созданы целые отделы, занимающиеся техникой безопасности.

Инженеры по охране труда и промышленной безопасности следят за выполнением всех норм и регламентов безопасности. За несоблюдение данных регламентов грозят различного рода санкции, вплоть до увольнения или уголовной ответственности работников предприятия.

Соблюдение норм и правил, описанных в данном разделе диссертации, поможет избежать случаев производственного травматизма, а также обеспечить здоровье персонала и сохранность окружающей среды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной магистерской диссертации был проведен анализ перспективных технологических направлений в области автоматизации (интеллектуализации) технологических процессов газодобычи и газопереработки. В качестве перспективного направления была выбрана область применения автономных сенсоров на производственных объектах, а именно на газораспределительной станции Томской ПП Томского ЛПУМГ.

В данной области было проведено подробное сравнение автономных беспроводных датчиков различных компаний, которые являются лидерами на мировом рынке. Выбор был сделан в пользу беспроводных датчиков компании «Emerson». Представленная компанией линейка беспроводных датчиков имеет все необходимые для применения на газораспределительной станции типы датчиков. По характеристикам представленные датчики компании «Emerson» являются одними из лучших из сравниваемых в данной работе.

С целью усовершенствования управления технологическим процессом газораспределительной станции были разработаны алгоритмы пуска и аварийного останова станции со стравливанием газа, в которых нашли свое применение беспроводные контрольно-измерительные приборы. Использование проводных датчиков в данных алгоритмах имеет множество недостатков, рассмотренных в пункте 5, которые могут привести к сбоям в их работе. Ввиду чего, применение беспроводных технологий является приоритетным. С помощью алгоритма пуска газораспределительной станции пропадет риск возникновения аварии по вине человека, так как все действия в необходимом порядке будут выполняться автоматически, а не вручную диспетчером Томского ЛПУМГ или оператором ГРС. Кроме ликвидации человеческого фактора при пуске ГРС или аварийном останове станции, с появлением нового алгоритма сохранится целостность счетчика газа, расположенного на линии потребителя ТПП. Помимо этого, при обеспечении дистанционного управления свечными



кранами, появляется возможность создать алгоритм аварийного останова газораспределительной станции со стравливанием газа. При стравливании газа в трубах не будет скапливаться газ, что позволит избежать взрыва на ГРС при возникновении аварийной ситуации. Применение беспроводных контрольно-измерительных приборов приведет к сохранению жизни и здоровья обслуживающего персонала, присутствующему на станции, так как отсутствует возможность обрыва или недопустимого натяжения кабелей датчиков, а также замыкание жил на землю или между собой, что свойственно проводным датчикам и может привести к аварийной ситуации.

Однако, по результатам выполненного в диссертации анализа потенциальных преимуществ беспроводных датчиков можно сделать вывод о том, что внедрение беспроводной технологии на существующей газораспределительной станции является довольно дорогостоящим. Данную технологию наиболее целесообразно применять на временных ГРС. Поставку газа потребителям нельзя приостанавливать даже во время проведения капитального ремонта на станции, для чего рядом с основной ГРС устанавливается временная. Именно через нее газ поставляется потребителям. Внедрение беспроводной технологии на данные временные ГРС значительно снизит время их подключения и запуска в работу. Помимо этого, беспроводные датчики можно использовать на запланированных к постройке станциях, где будут спроектированы места их более выгодного расположения.

## Список используемой литературы

1. Цифровизация и интеллектуализация нефтегазовых месторождений [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.ipng.ru/files/\\_72af087e-fd28-4c55-8e7c-9190a9d4abdc-DmitrievskiyAN\\_Neftegaz\\_2016\\_2.pdf](http://www.ipng.ru/files/_72af087e-fd28-4c55-8e7c-9190a9d4abdc-DmitrievskiyAN_Neftegaz_2016_2.pdf), свободный (дата обращения: 11.03.20)
2. Еремин А.Н., Еремин Н.А. Современное состояние и перспективы развития интеллектуальных скважин // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 12. – С. 50-53.
3. Гаричев С.Н., Еремин Н.А. Технология управления в реальном времени. В 2 ч. – М.: МФТИ, 2015. – Ч. 1. – 196 с.
4. APC – усовершенствованное управление технологическими процессами [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/281490499\\_Advanced\\_Process\\_Control\\_APC\\_APC\\_USOVERSENSTVOVANNOE\\_UPRAVLENIE\\_TEHNOLOGICESKIMI\\_PROCESSAMI](https://www.researchgate.net/publication/281490499_Advanced_Process_Control_APC_APC_USOVERSENSTVOVANNOE_UPRAVLENIE_TEHNOLOGICESKIMI_PROCESSAMI), свободный (дата обращения: 11.03.20)
5. Системы управления нестационарным объектом на основе MPC-регулятора и ПИД-регулятора с нечеткой логикой [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-upravleniya-nestatsionarnym-obektom-na-osnove-mpc-regulyatora-i-pid-regulyatora-s-nechetkoy-logikoy>, свободный (дата обращения: 11.03.20)
6. Управление производственными системами и процессами [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.cfin.ru/management/manufact/manufacturing\\_sys-01.shtml](https://www.cfin.ru/management/manufact/manufacturing_sys-01.shtml), свободный (дата обращения: 11.03.20)
7. Черняк Л. Интернет вещей: новые вызовы и новые технологии // Открытые системы. СУБД. – 2013. – № 4. – С. 14-18. Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2013/04/13035551>, свободный (дата обращения: 11.03.20).

8. Облачные технологии в управлении [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/oblachnye-tehnologii-v-upravlenii/viewer>, свободный (дата обращения: 22.03.2020)
9. Роль ИТ-отдела в парадигме облачных вычислений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clobbi.com/ru/blog/it-department-cloud-computing/>, свободный (дата обращения: 22.03.2020)
10. Баламирзоев Н. Л. Проблемы внедрения информационной системы управления предприятием // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2014. – Т. 20. – С. 606–610. Режим доступа: <http://e-koncept.ru/2014/54385.html>, свободный (дата обращения: 20.03.20)
11. Газпром нефть [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gazprom-neft.ru/company/at-a-glance>, свободный (дата обращения: 20.03.20)
12. Цифровизация производства: теоретическая сущность и перспективы развития в российской экономике [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-proizvodstva-teoreticheskaya-suschnost-i-perspektivy-razvitiya-v-rossiyskoj-ekonomike>, свободный (дата обращения: 22.03.20)
13. А.Н. Дмитриевский, В.Г. Мартынов, Л.А. Абукова, Н.А. Еремин. Цифровизация и интеллектуализация нефтегазовых месторождений // Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области. – 2016. – № 2 (24), апрель-июнь. – С. 13-19
14. Беспроводной дистанционный (wifi) датчик температуры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tomsk.videogsm.ru/besprovodnoj-wifi-datchik-temperature.php> (дата обращения: 22.03.20).
15. Беспроводный газовый датчик с автономным питанием [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://poleznayamodel.ru/model/9/95849.html> (дата обращения: 22.03.20).

16. Контроллер. Задачи и обязанности контроллера [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vuzlit.ru/2066644/>, свободный (дата обращения: 14.04.20)

17. 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 (дата обращения: 14.04.20)

18. 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 (дата обращения: 15.04.20)

19. С.П. Богданов, О.О. Басов. Перспективы и проблемы применения беспроводных датчиков с автономным питанием [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://old.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2012-26-1/020.pdf>, свободный (дата обращения: 10.04.20)

20. Углеродные аккумуляторы приходят на смену литиевым [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elektrik.info/main/news/1202-uglerodnye-akkumulyatory-prihodyat-na-smenu-litievym.html>, свободный (дата обращения: 10.04.2020)

21. Алюминиевые аккумуляторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elektrik.info/main/news/940-alyuminievye-akkumulyatory.html>, свободный (дата обращения: 10.04.2020)

22. Беспроводная сенсорная сеть [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспроводная\\_сенсорная\\_сеть](https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспроводная_сенсорная_сеть), свободный (дата обращения: 05.04.20)

23. Методы снижения потребляемой мощности в беспроводных системах [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<https://russianelectronics.ru/metody-snizheniya-potrebyaemoj-moshhnosti-v-besprovodnyh-sistemah-chast-1-2/>, свободный (дата обращения: 05.04.20)

24. Решения по автоматизации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru>, свободный (дата обращения: 02.03.2020).

25. Бинар [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.binar.ru/>, свободный (дата обращения: 03.03.2020).

26. *Schneider Electric Russia* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.se.com/ru/ru/>, свободный (дата обращения: 03.03.2020).

27. Контрольно-измерительные приборы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.yokogawa.ru/>, свободный (дата обращения: 03.03.2020).

28. *Siemens* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.siemens-ru.com/>, свободный (дата обращения: 04.03.2020).

29. *Honeywell* Россия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.honeywell.ru/>, свободный (дата обращения: 04.03.2020).

30. Постановление Правительства РФ от 12.10.2004 N 539 (ред. от 22.12.2018) «О порядке регистрации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств»

31. ГОСТ Р ИСО/МЭК 29182-1-2018 Информационные технологии. Эталонная архитектура для сенсорных сетей (SNRA). Часть 1. Общий обзор и требования

32. Звезда (топология сети) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Звезда\\_\(топология\\_компьютерной\\_сети\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Звезда_(топология_компьютерной_сети)), свободный (дата обращения: 15.04.20)

33. Ячеистая топология [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ячеистая\\_топология](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ячеистая_топология), свободный (дата обращения: 15.04.20)

34. Бражук Андрей. Построение беспроводных локальных сетей на основе ячеистой топологии [Электронный ресурс] Режим доступа:

[https://wireless-e.ru/articles/technologies/2006\\_4\\_24.php](https://wireless-e.ru/articles/technologies/2006_4_24.php), свободный (дата обращения: 05.03.20)

35. Сетевая модель OSI [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сетевая\\_модель\\_OSI](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сетевая_модель_OSI), свободный (дата обращения: 15.04.20)

36. Метран-150 Датчики Давления [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/metran-150-ru-ru>, свободный (дата обращения: 10.05.20)

37. Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://теплоприбор.рф/produkcija/termopreobrazovateli-s-unifitsirovannym-vyhodnym-signalom/>, свободный (дата обращения: 10.05.20)

38. Уровнемер УЛМ-11А2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.limaco.ru/ru/production/101/164/>, свободный (дата обращения: 10.05.20)

39. Газоанализаторы СГОЭС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gazoanalizators.ru/tech/sgoes-re.pdf>, свободный (дата обращения: 10.05.20)

40. СТО Газпром 2-3.5-454-2010 Правила эксплуатации магистральных газопроводов

41. ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85) Единая система программной документации (ЕСПД). Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения

42. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»

43. ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»

44. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий

45. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение

# Приложение А (обязательное)

## Характеристики технологий на основе автономных сенсоров

Сравнение характеристик	Schneider Electric	Emerson Rosemount	Yokogawa	Siemens	Honeywell	Объединение БИНАР
Параметры беспроводной сети	Стандарт ISA100.11a, статическая топология (преимущественно звезда), 2,4 ГГц	Технология(стандарт) WirelessHART, Динамическая топология (mesh), 2,4 ГГц	Стандарт ISA100.11a, статическая топология (преимущественно звезда), 2,4 ГГц	Технология(стандарт) WirelessHART, Динамическая топология (mesh), 2,4 ГГц	Стандарт ISA100.11a, статическая топология (преимущественно звезда), 2,4 ГГц	Собственный протокол на базе стандарта IEEE 802.15.4, статическая топология (преимущественно звезда), 868 МГц/ 433 МГц
Поддерживаемые протоколы, интерфейсы	Modbus RTU, RS485 OPC, HART IP Modbus TCP/IP Ethernet-IP	Modbus RTU, RS485 OPC, HART IP Modbus TCP/IP Ethernet-IP	OPC(заказывается отдельно) Modbus TCP/IP	EtherNet-IP	Modbus RTU, RS485 OPC Modbus TCP/IP	Modbus RTU, RS485
Количество приборов на 1 шлюз	100 (возможность создание сети из 256)	100 (25 для модели 1410)	50	Ограничений нет. Рекомендовано <100	<60 на одну точку доступа (без станции управления сеть не функционирует)	8 приборов на каждый модуль сбора и связи
<b>Шлюз</b>						
Способ питания	Литиевый аккумулятор	Модуль питания Emerson	Две батареи стандартных типов	Батарея 3,6 В	Две батареи стандартных типов	Батарея 3,6 В ёмкость 2,4 А·ч
Срок службы батареи	До 10 лет	До 10 лет	До 10 лет	До 5 лет	До 6 лет	До 10 лет
Тип исполнения датчиков	Ex ia	Ex ia	Ex ia	Ex ia	Ex ia	Ex ia
Дальность передачи данных по прямой видимости	1000м (при использовании встроенных антенн)	200м стандартное исполнение; 800м приборы увелич. радиуса	600м датчик-датчик; 300м шлюз - Датчик	250м / 50м в помещении	150м датчик-датчик; 300м шлюз-датчик	удаленность от модуля сбора и связи <100 м; удаленность от базовой станции <1000 м
Встроенный радиомодуль (КИП)	да	да	да	да	да (используется не весь спектр приборов КИП, необходимы преобразователи выходного сигнала HART в беспроводной сигнал)	да
Требуется дополнительная настройка маршрутов связи	ручная настройка	сеть полностью самоорганизующаяся и самовосстанавливающаяся	ручная настройка	сеть полностью самоорганизующаяся и самовосстанавливающаяся	ручная настройка	ручная настройка
Температура окружающей среды КИП	-40 до +85	-60 до +85	-40 до +85	-40 до +60	-40 до +85	-50 до +50
<b>Настройка/Установка</b>						
ПО и оборудование для настройки беспроводной сети	ПО Accutech Manager	веб-интерфейс шлюза, бесплатное ПО AMS Wireless Configurator	Field Wireless Management Tool, 1 лицензия	ПО ПА PORTAL / S7	Wireless Builder, требуется приобретение станции управления и точек доступа, требующих внешнее питание и прокладку сетевого кабеля	ПО поставляется комплектно с разрабатываемыми системами. Для взаимодействия со сторонними системами необходимо наличие Базовой станции
<b>Перечень поддерживаемых технологических параметров</b>						
Перечень поддерживаемых технологических параметров	Давление Температура Уровень преобразователей сигнала HART или 4-20МА в беспроводной сигнал)	Давление Температура Уровень	Давление Температура	Давление Температура	Давление Температура Уровень преобразователей только сигнала HART в беспроводной сигнал)	Давление Температура Уровень



Перв. примен.

Справ. №

Погр. и дата

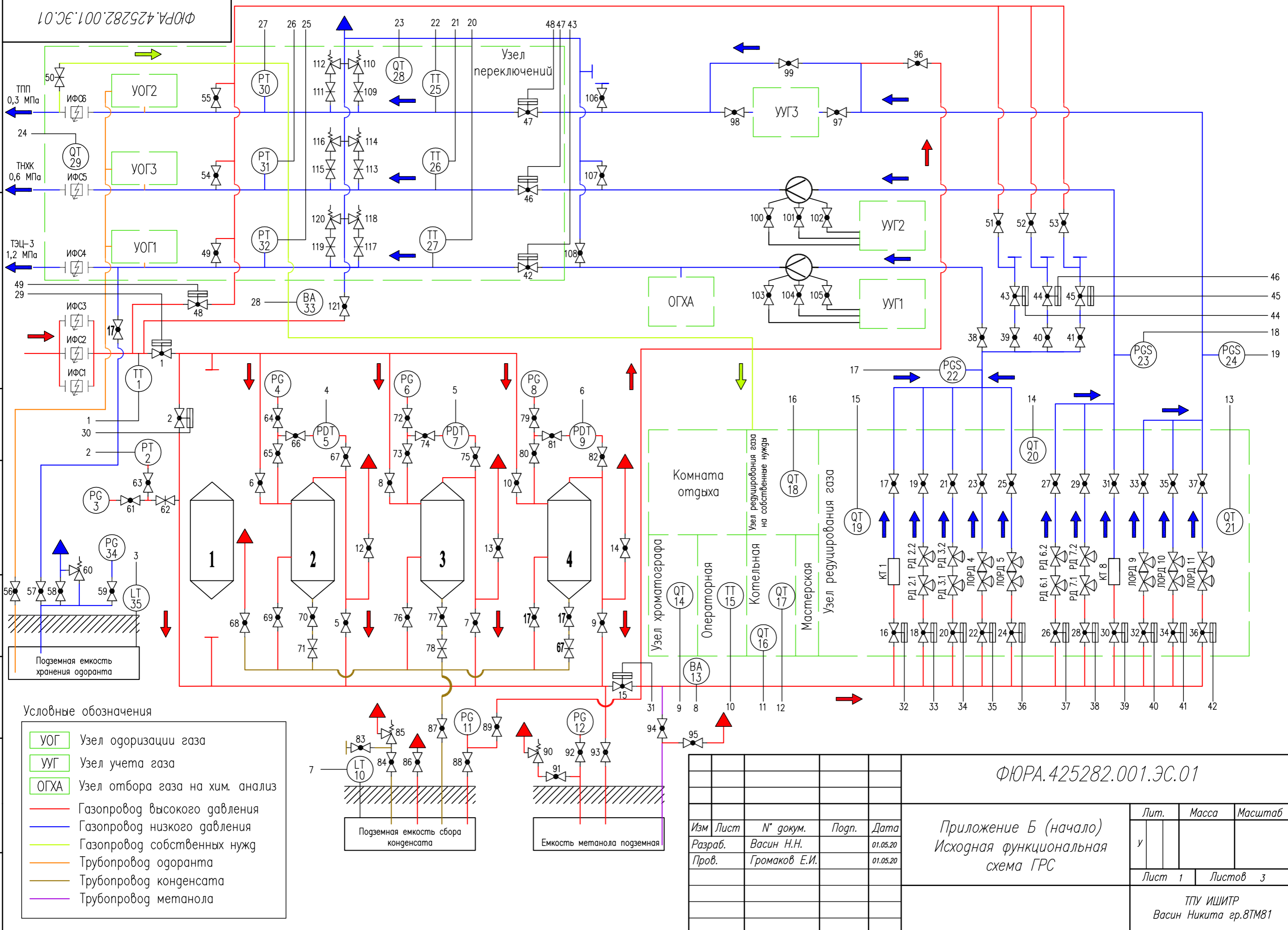
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Погр. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.425282.001.ЭС.01



- Условные обозначения
- УОГ Узел одоризации газа
  - УУГ Узел учета газа
  - ОГХА Узел отбора газа на хим. анализ
  - Газопровод высокого давления
  - Газопровод низкого давления
  - Газопровод собственных нужд
  - Трубопровод одоранта
  - Трубопровод конденсата
  - Трубопровод метанола

Изм	Лист	№ докум.	Погр.	Дата
		Васин Н.Н.		01.05.20
		Громаков Е.И.		01.05.20

ФЮРА.425282.001.ЭС.01

Приложение Б (начало)  
Исходная функциональная  
схема ГРС

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист 1		Листов 3

ТПУ ИШИТР  
Васин Никита гр.8ТМ81

ФЮРА.425282.001.ЭС.01

Название параметра	Операторная			Электрошитовая			ЩУВ	Приборы по месту
	Щкаф ОПС	ШВП	Щкаф ТСО	Щкаф ТСО	ШР	СКЗ		
Температура газа на входе ГРС	Измерение	ТИ						
Давление газа на входе ГРС	Измерение	ТИ						
Уровень огоранта в подземной емкости хранения огоранта	Измерение	ТИ						
Перепад давления на фильтре пылеуловителя П2	Измерение	ТИ						
Перепад давления на фильтре пылеуловителя П3	Измерение	ТИ						
Перепад давления на фильтре пылеуловителя П4	Измерение	ТИ						
Уровень конденсата в подземной емкости сбора конденсата	Измерение	ТИ						
Оповещатель загазованности включить/отключить	Сигнализация							
Загазованность в помещении узла хроматерафа	Сигнализация							
Температура воздуха в операторной	Измерение	ТИ						
Загазованность в помещении котельной (метан)	Сигнализация							
Загазованность в помещении котельной (угарный газ)	Сигнализация							
Загазованность в помещении узла редуцирования	Сигнализация							
Загазованность в помещении узла редуцирования	Сигнализация							
Загазованность в помещении узла редуцирования	Сигнализация							
Загазованность в помещении узла редуцирования газа на собственные нужды	Сигнализация							
Давление газа на выходе ГРС на ТЭЦ-3	Измерение	ТИ						
Давление газа на выходе ГРС на ТНЖ	Измерение	ТИ						
Давление газа на выходе ГРС на собственные нужды	Измерение	ТИ						
Температура газа на выходе ГРС на ТЭЦ-3	Измерение	ТИ						
Температура газа на выходе ГРС на ТНЖ	Измерение	ТИ						
Температура газа на выходе ГРС на собственные нужды	Измерение	ТИ						
Загазованность в здании узла переключения	Сигнализация							
Загазованность в здании узла переключения	Сигнализация							
Давление газа на выходе ГРС на ТЭЦ-3	Измерение	ТИ						
Давление газа на выходе ГРС на ТНЖ	Измерение	ТИ						
Давление газа на выходе ГРС на собственные нужды	Измерение	ТИ						
Оповещатель загазованности включить/отключить	Сигнализация							
Вытяжную вентиляцию в зале редуцирования включить/отключить	Управление							
Вытяжную вентиляцию в зале переключений включить/отключить	Управление							
Вентиляция в зале редуцирования включена	Управление							
Вентиляция в зале переключения включена	Управление							
Параметры АСОГ	Управление							
Пожар в помещениях ГРС	Управление							
Неисправность прибора	Управление							
Проникновение в здание ГРС	Управление							
Проникновение за охраняемой периметр площадки ГРС	Управление							
Проникновение в здание ГРС	Управление							
Проникновение за охраняемой периметр площадки ГРС	Управление							
Проникновение за охраняемой периметр площадки ГРС	Управление							
Параметры системы измерения количества и качества газа	Управление							
Параметры системы учета электроэнергии	Управление							
Учет газа на выходе ГРС (линии ТНЖ, ТЭЦ-3)	Управление							
Учет газа на выходе ГРС (линии ТНЖ)	Управление							
Учет газа на выходе ГРС (линии ТЭЦ-3)	Управление							

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Васин Н.Н.		01.05.20
Пров.		Громаков Е.И.		01.05.20

ФЮРА.425282.001.ЭС.02

Приложение Б (продолжение)  
Исходная функциональная  
схема ГРС

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист 2	Листов 3	

ТПУ ИШИТР  
Васин Никита гр.8ТМ81

Перв. примен.

Справ. №

Погр. и дата

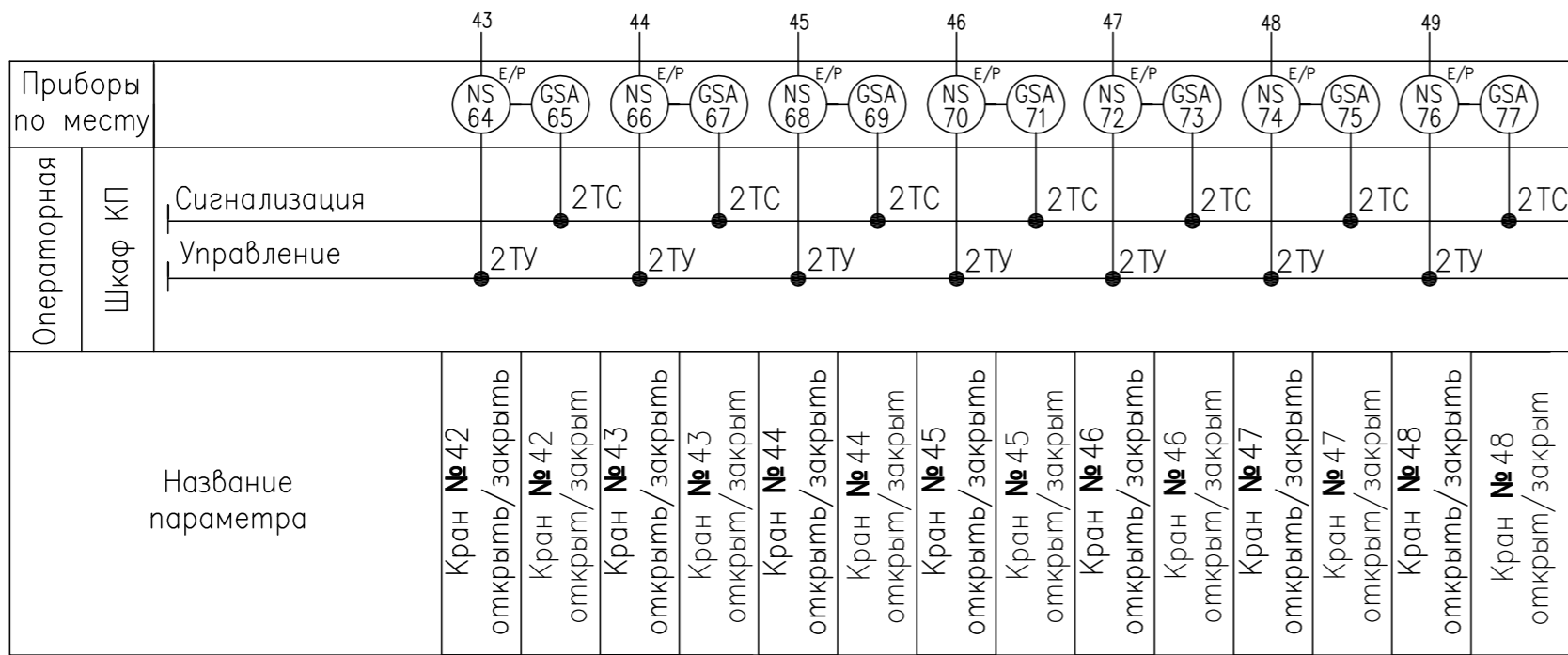
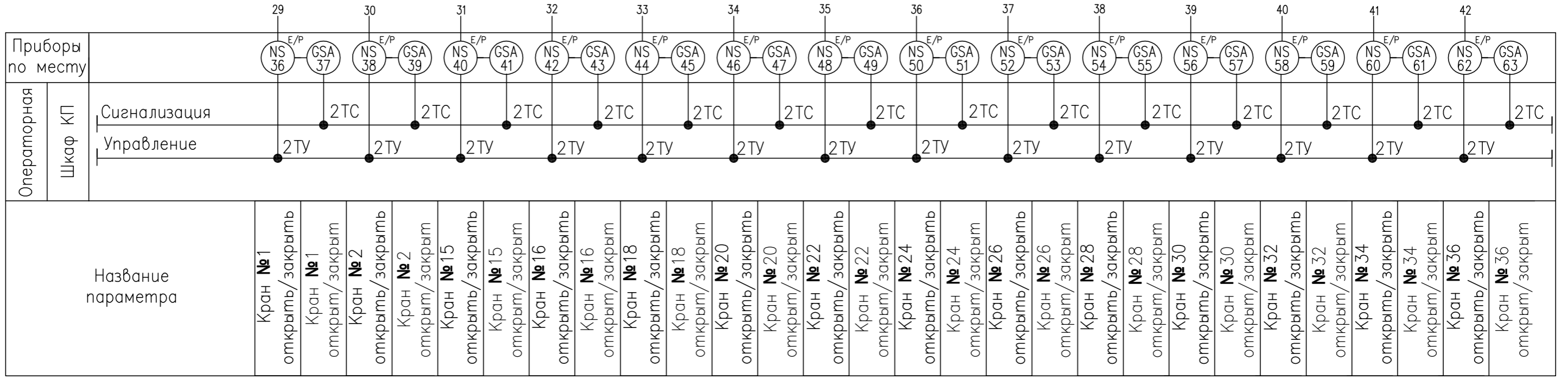
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Погр. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.425282.001.ЭС.03



					ФЮРА.425282.001.ЭС.03				
Изм	Лист	№ докум.	Погр.	Дата	Приложение Б (конец) Исходная функциональная схема ГРС	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.		Васин Н.Н.		01.05.20		у			
Пров.		Громаков Е.И.		01.05.20					
						Лист 3		Листов 3	
						ТПУ ИШИТР Васин Никита гр.8ТМ81			

Перв. примен.

Справ. №

Погр. и дата

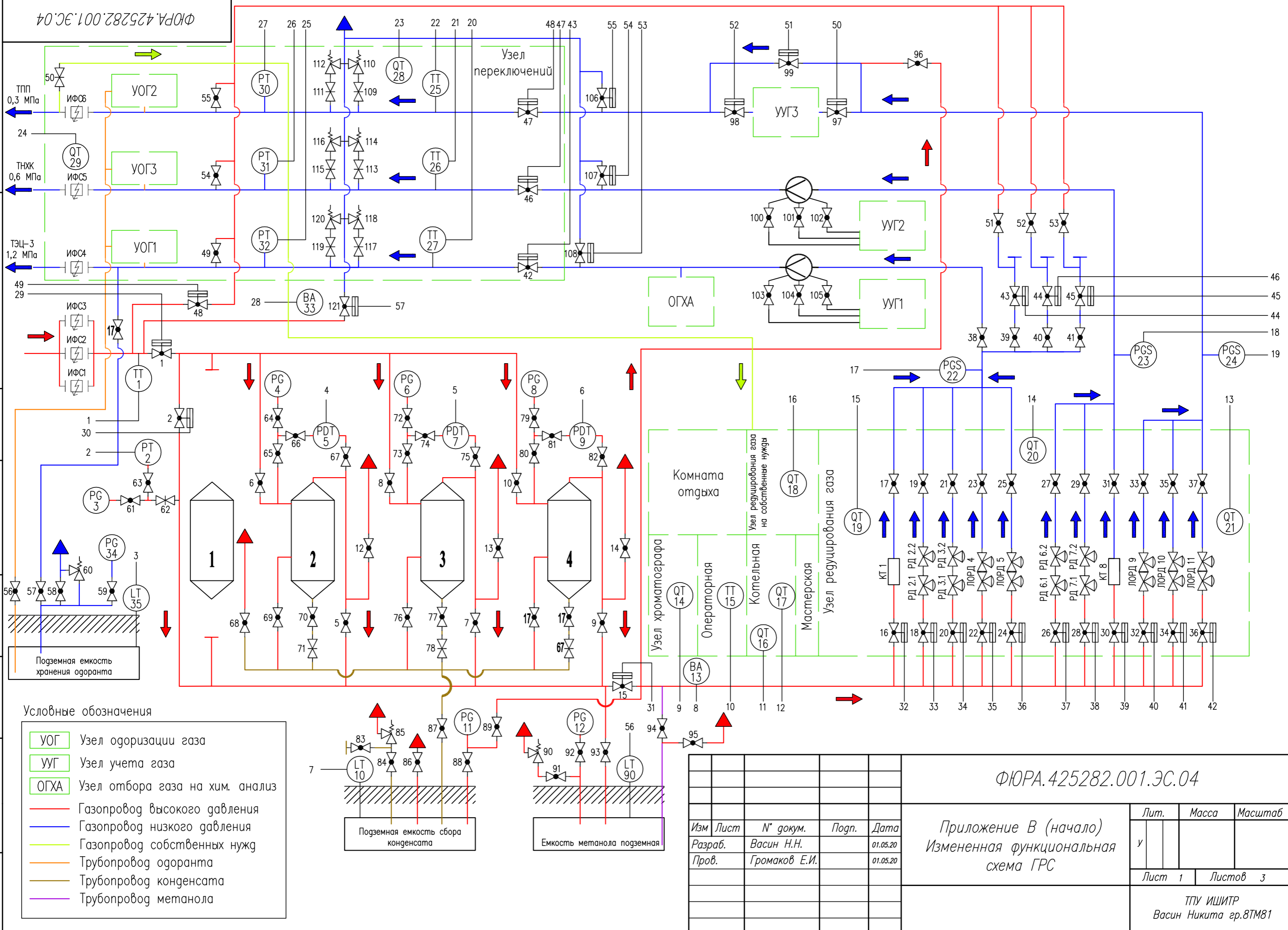
Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Погр. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.425282.001.ЭС.04



- Условные обозначения
- УОГ Узел одоризации газа
  - УУГ Узел учета газа
  - ОГХА Узел отбора газа на хим. анализ
  - Газопровод высокого давления
  - Газопровод низкого давления
  - Газопровод собственных нужд
  - Трубопровод одоранта
  - Трубопровод конденсата
  - Трубопровод метанола

Изм	Лист	№ докум.	Погр.	Дата
		Васин Н.Н.		01.05.20
		Громаков Е.И.		01.05.20

ФЮРА.425282.001.ЭС.04

Приложение В (начало)  
Измененная функциональная  
схема ГРС

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист 1	Листов 3	

ТПУ ИШИТР  
Васин Никита гр.8ТМ81

Перв. примен.

Справ. №

Подр. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подр. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.425282.001.ЭС.05

Название параметра	Операторная			Электрошитовая			ЩУВ	Приборы по месту	1
	Шкаф КП	ШВП	Шкаф ОПС	Шкаф ТСО	ШР	СКЗ			
Температура газа на входе ГРС	Ethernet								-5...5 °C
Давление газа на входе ГРС	Сигнализация								2.0...5.5 МПа
Уровень ороарнта в подземной емкости хранения ороарнта	Управление								0...1 м
Перепад давления на фильтре пылеуловителя П2	RS-485/RS-232								0...630 кПа
Перепад давления на фильтре пылеуловителя П3									0...630 кПа
Перепад давления на фильтре пылеуловителя П4									0...630 кПа
Уровень конденсата в подземной емкости сбора конденсата									0...1 м
Оповещатель загазованности включить/отключить	2TY								0...100 %
Загазованность в помещении узла хроматографа									-50...50 °C
Температура воздуха в операторной									0...100 %
Загазованность в помещении котельной (метан)									0...100 %
Загазованность в помещении котельной (угарный газ)									20...120 мг/м³
Загазованность в помещении узла редукторобания									0...100 %
Загазованность в помещении узла редукторобания									0...100 %
Загазованность в помещении узла редукторобания									0...100 %
Загазованность в помещении узла редукторобания газа на собственные нужды									0...100 %
Давление газа на выходе ГРС на ТЭЦ-3									-5...5 °C
Давление газа на выходе ГРС на ТНХ									-5...5 °C
Давление газа на выходе ГРС на собственные нужды									-5...5 °C
Температура газа на выходе ГРС на ТЭЦ-3									0...100 %
Температура газа на выходе ГРС на ТНХ									0...100 %
Температура газа на выходе ГРС на собственные нужды									0...1.2 МПа
Загазованность в здании узла переключения									0...0.6 МПа
Загазованность в здании узла переключения									0...0.3 МПа
Давление газа на выходе ГРС на собственные нужды									
Оповещатель загазованности включить/отключить									
Вытяжную вентиляцию в зале редукторобания включить/отключить									
Вытяжную вентиляцию в зале переключений включить/отключить									
Вентиляция в зале редукторобания включена									
Вентиляция в зале переключения включена									
Параметры АСОГ									
Пожар в помещениях ГРС									
Неисправность прибора									
Проникновение в здание ГРС									
Проникновение за охраняемый периметр площадки ГРС									
Проникновение в здание ГРС									
Проникновение за охраняемый периметр площадки ГРС									
Проникновение за охраняемый периметр площадки ГРС									
Параметры системы измерения количества и качества газа									
Параметры системы учета электроэнергии									
Учет газа на выходе ГРС (линии ТНХ ТЭЦ-3)									
Учет газа на выходе ГРС (линии ТНХ)									
Учет газа на выходе ГРС (линии ТЭЦ-3)									
Уровень метанола в подземной емкости метанола									0...1 м

Название параметра

ФЮРА.425282.001.ЭС.05

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Васин Н.Н.		01.05.20
Пров.		Громаков Е.И.		01.05.20

Приложение В (продолжение)  
Измененная функциональная  
схема ГРС

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист 2	Листов 3	

ТПУ ИШИТР  
Васин Никита гр.8ТМ81

Перв. примен.

Справ. №

Погр. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Погр. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.425282.001.ЭС.06

Приборы по месту	29 E/P NS 36 GSA 37		30 E/P NS 38 GSA 39		31 E/P NS 40 GSA 41		32 E/P NS 42 GSA 43		33 E/P NS 44 GSA 45		34 E/P NS 46 GSA 47		35 E/P NS 48 GSA 49		36 E/P NS 50 GSA 51		37 E/P NS 52 GSA 53		38 E/P NS 54 GSA 55		39 E/P NS 56 GSA 57		40 E/P NS 58 GSA 59		41 E/P NS 60 GSA 61		42 E/P NS 62 GSA 63																														
	Операторная	Шкаф КП Ethernet																																																							
Название параметра		Кран №1 открыть/закрыть		Кран №1 открыть/закрыт		Кран №2 открыть/закрыть		Кран №2 открыть/закрыт		Кран №15 открыть/закрыть		Кран №15 открыть/закрыт		Кран №16 открыть/закрыть		Кран №16 открыть/закрыт		Кран №18 открыть/закрыть		Кран №18 открыть/закрыт		Кран №20 открыть/закрыть		Кран №20 открыть/закрыт		Кран №22 открыть/закрыть		Кран №22 открыть/закрыт		Кран №24 открыть/закрыть		Кран №24 открыть/закрыт		Кран №26 открыть/закрыть		Кран №26 открыть/закрыт		Кран №28 открыть/закрыть		Кран №28 открыть/закрыт		Кран №30 открыть/закрыть		Кран №30 открыть/закрыт		Кран №32 открыть/закрыть		Кран №32 открыть/закрыт		Кран №34 открыть/закрыть		Кран №34 открыть/закрыт		Кран №36 открыть/закрыть		Кран №36 открыть/закрыт	

Приборы по месту	43 E/P NS 64 GSA 65		44 E/P NS 66 GSA 67		45 E/P NS 68 GSA 69		46 E/P NS 70 GSA 71		47 E/P NS 72 GSA 73		48 E/P NS 74 GSA 75		49 E/P NS 76 GSA 77		50 E/P NS 78 GSA 79		51 E/P NS 80 GSA 81		52 E/P NS 82 GSA 83		53 E/P NS 84 GSA 85		54 E/P NS 86 GSA 87		55 E/P NS 88 GSA 89		57 E/P NS 88 GSA 89																														
	Операторная	Шкаф КП Ethernet																																																							
Название параметра		Кран №42 открыть/закрыть		Кран №42 открыть/закрыт		Кран №43 открыть/закрыть		Кран №43 открыть/закрыт		Кран №44 открыть/закрыть		Кран №44 открыть/закрыт		Кран №45 открыть/закрыть		Кран №45 открыть/закрыт		Кран №46 открыть/закрыть		Кран №46 открыть/закрыт		Кран №47 открыть/закрыть		Кран №47 открыть/закрыт		Кран №48 открыть/закрыть		Кран №48 открыть/закрыт		Кран №97 открыть/закрыть		Кран №97 открыть/закрыт		Кран №99 открыть/закрыть		Кран №99 открыть/закрыт		Кран №98 открыть/закрыть		Кран №98 открыть/закрыт		Кран №108 открыть/закрыть		Кран №108 открыть/закрыт		Кран №107 открыть/закрыть		Кран №107 открыть/закрыт		Кран №106 открыть/закрыть		Кран №106 открыть/закрыт		Кран №121 открыть/закрыть		Кран №121 открыть/закрыт	

ФЮРА.425282.001.ЭС.06

Изм	Лист	№ докум.	Погр.	Дата
Разраб.		Васин Н.Н.		01.05.20
Пров.		Громаков Е.И.		01.05.20

Приложение В (конец)  
Измененная функциональная  
схема ГРС

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист 3		Листов 3

ТПУ ИШИТР  
Васин Никита гр.8ТМ81

Перв. примен.

Справ. №

Погр. и дата

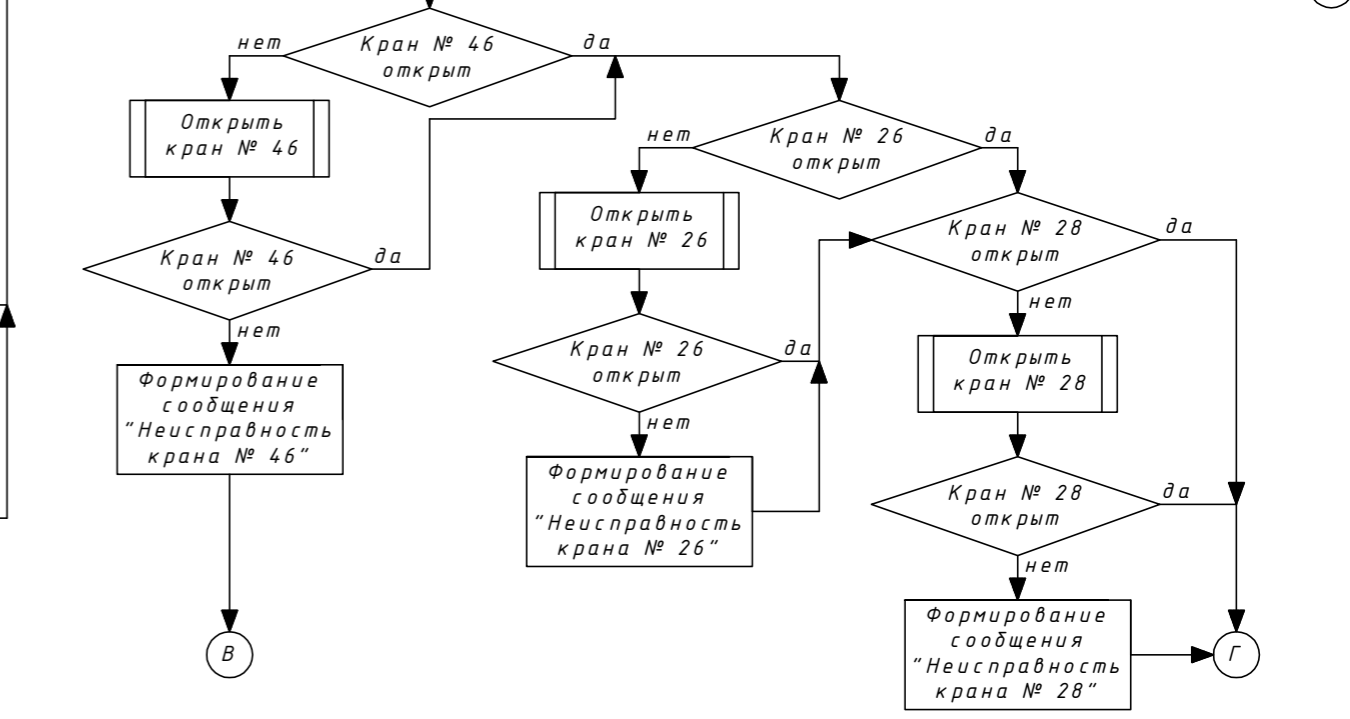
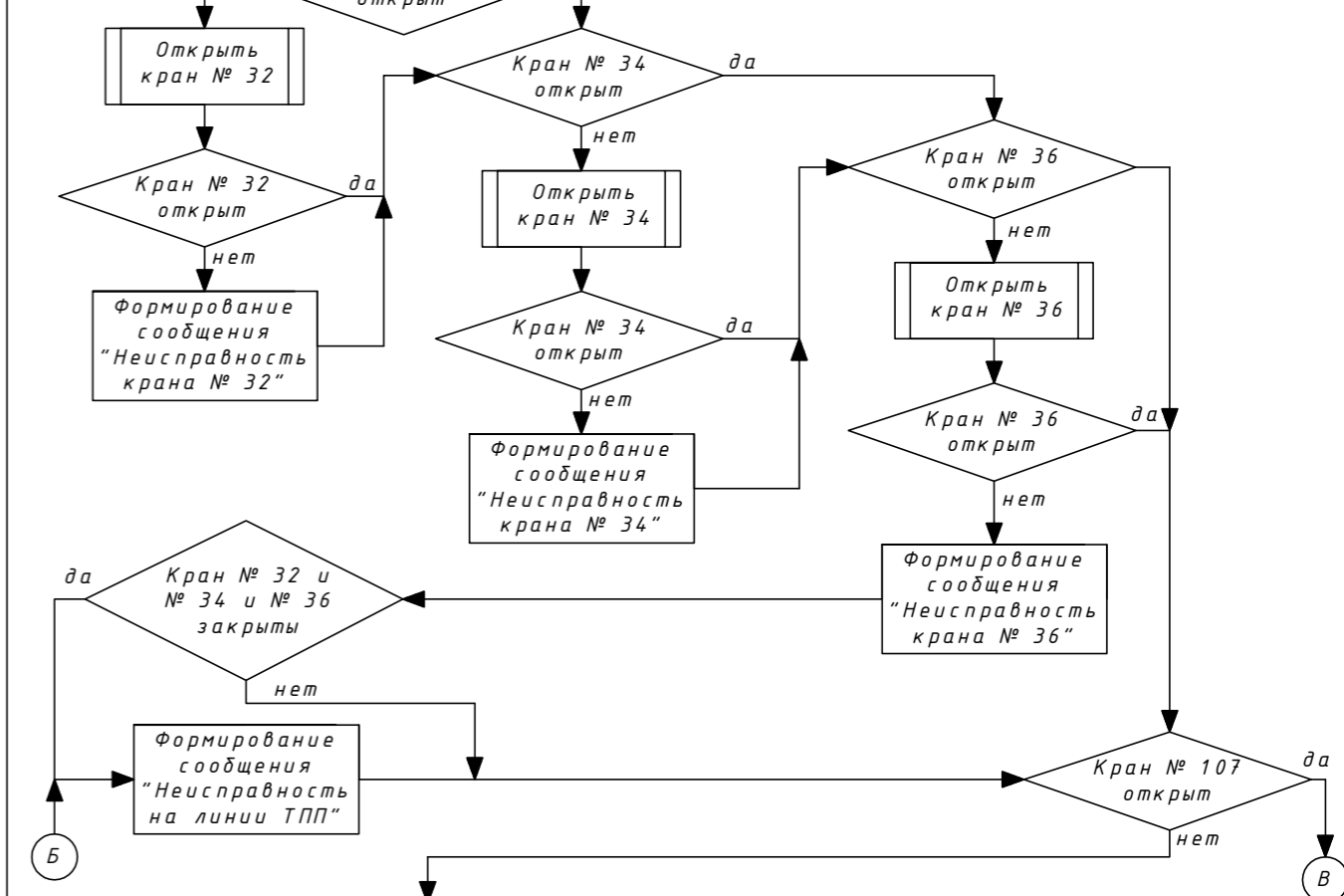
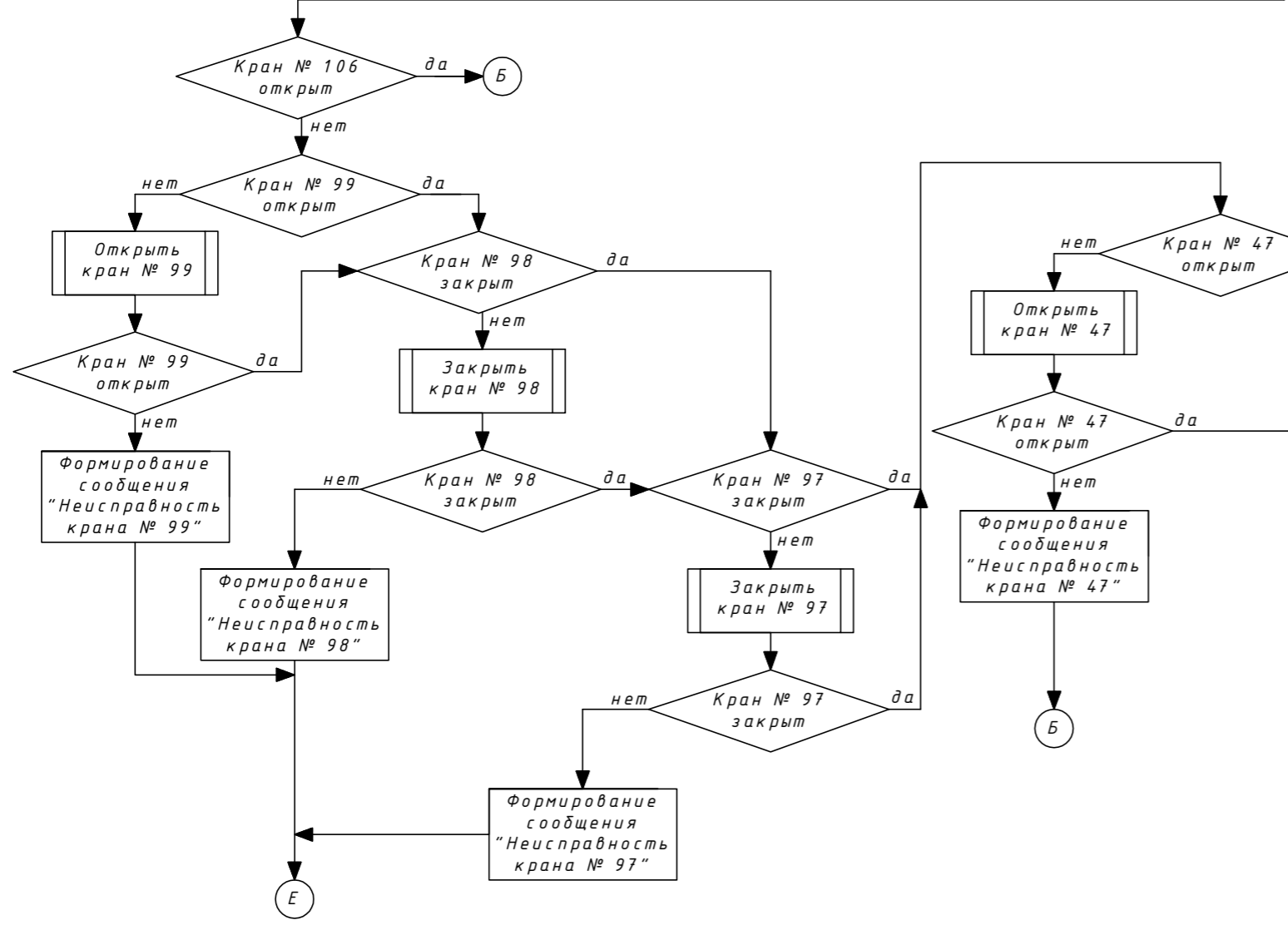
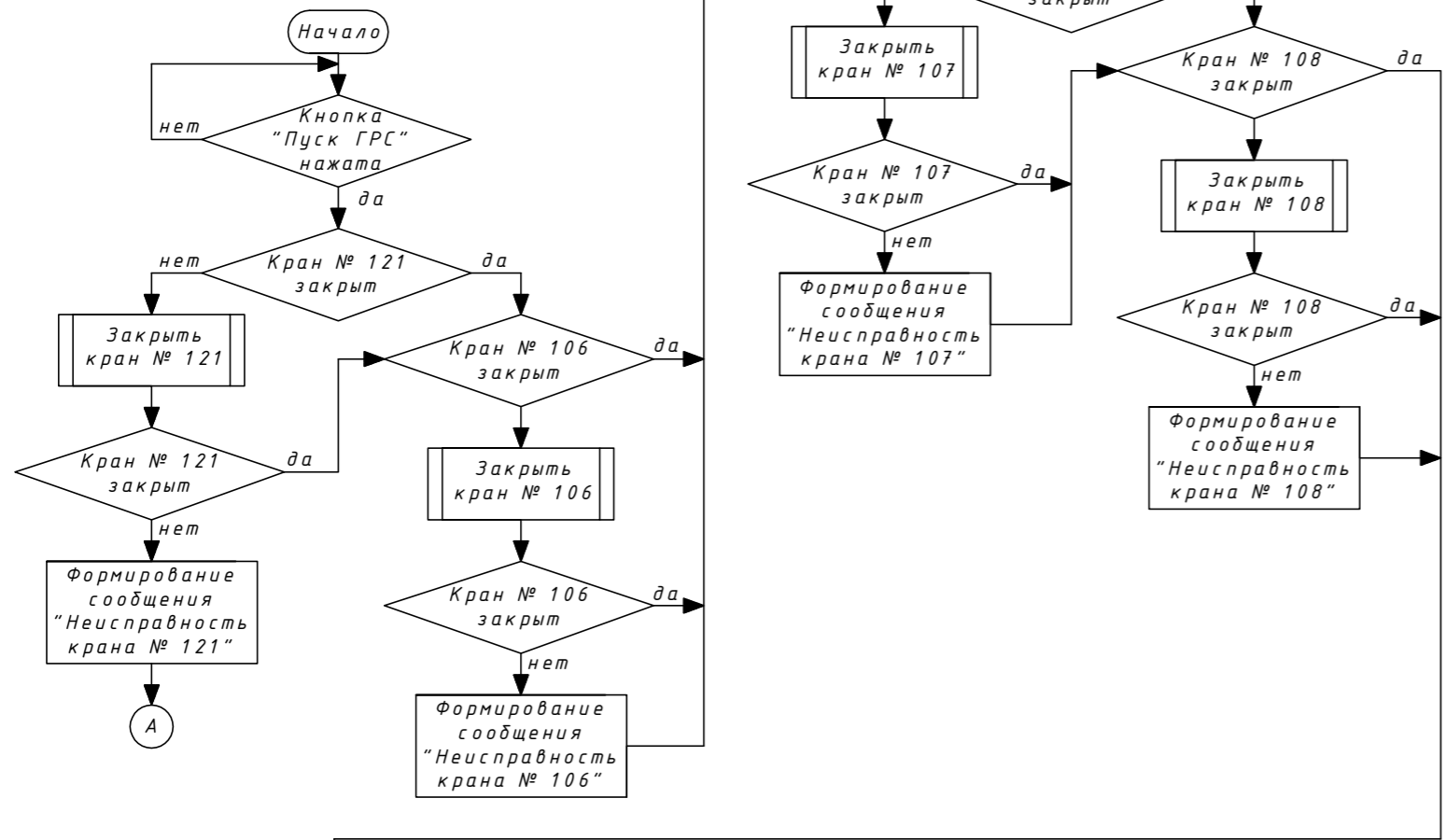
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Погр. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.425282.001.ЭС.07



ФЮРА.425282.001.ЭС.07									
Изм	Лист	№ докум.	Погр.	Дата	Приложение Г (начало) Алгоритм пуска ГРС	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.		Васин Н.Н.		01.05.20		у			
Пров.		Громаков Е.И.		01.05.20					
						Лист	1	Листов	2
						ТПУ ИШИТР Васин Никита гр.8ТМ81			



Перв. примен.

Справ. №

Погр. и дата

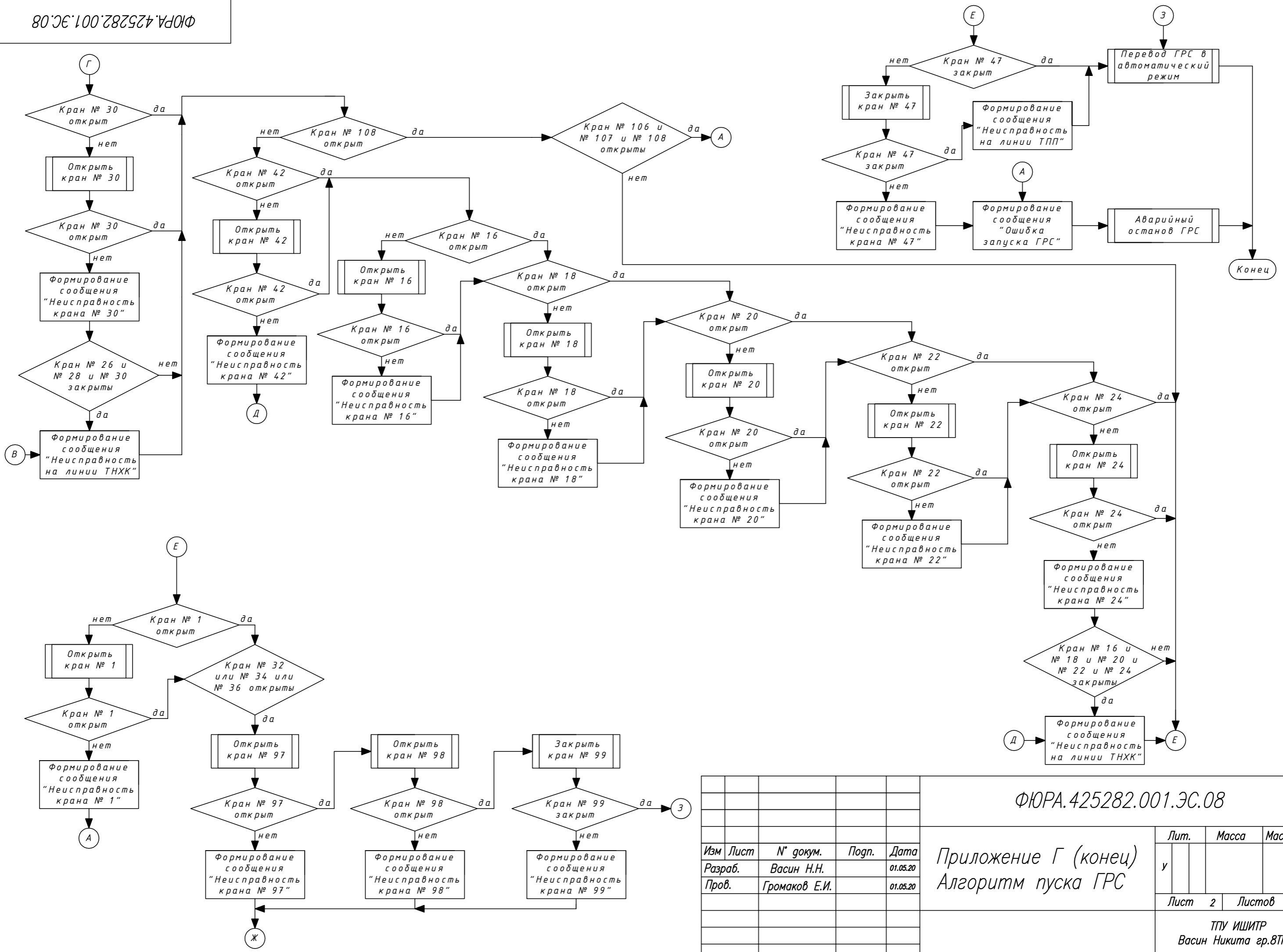
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Погр. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА.425282.001.ЭС.08



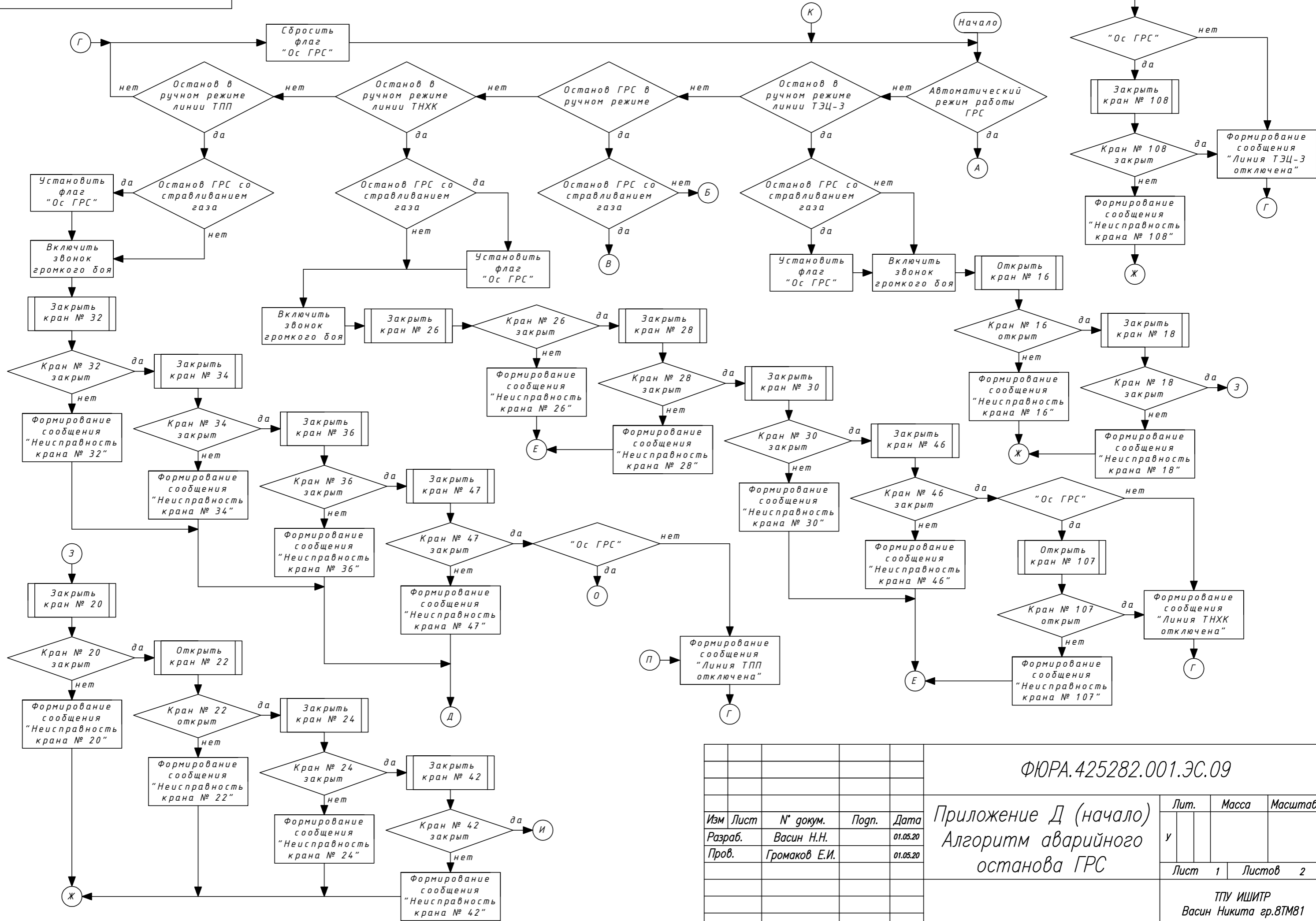
ФЮРА.425282.001.ЭС.08

Изм	Лист	№ докум.	Погр.	Дата
Разраб.		Васин Н.Н.		01.05.20
Пров.		Громаков Е.И.		01.05.20

Приложение Г (конец)  
Алгоритм пуска ГРС

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист 2	Листов 2	
ТПУ ИШИТР Васин Никита гр.8ТМ81		





Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Васин Н.Н.		01.05.20
Пров.		Громаков Е.И.		01.05.20

ФЮРА.425282.001.ЭС.09

Приложение Д (начало)  
Алгоритм аварийного останова ГРС

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист 1	Листов 2	

ТПУ ИШИТР  
Васин Никита гр.8ТМ81

Перв. примен. / Справ. № / Подп. и дата / Инв. № дубл. / Взам. инв. № / Подп. и дата / Инв. № подл.

Перв. примен.

Справ. №

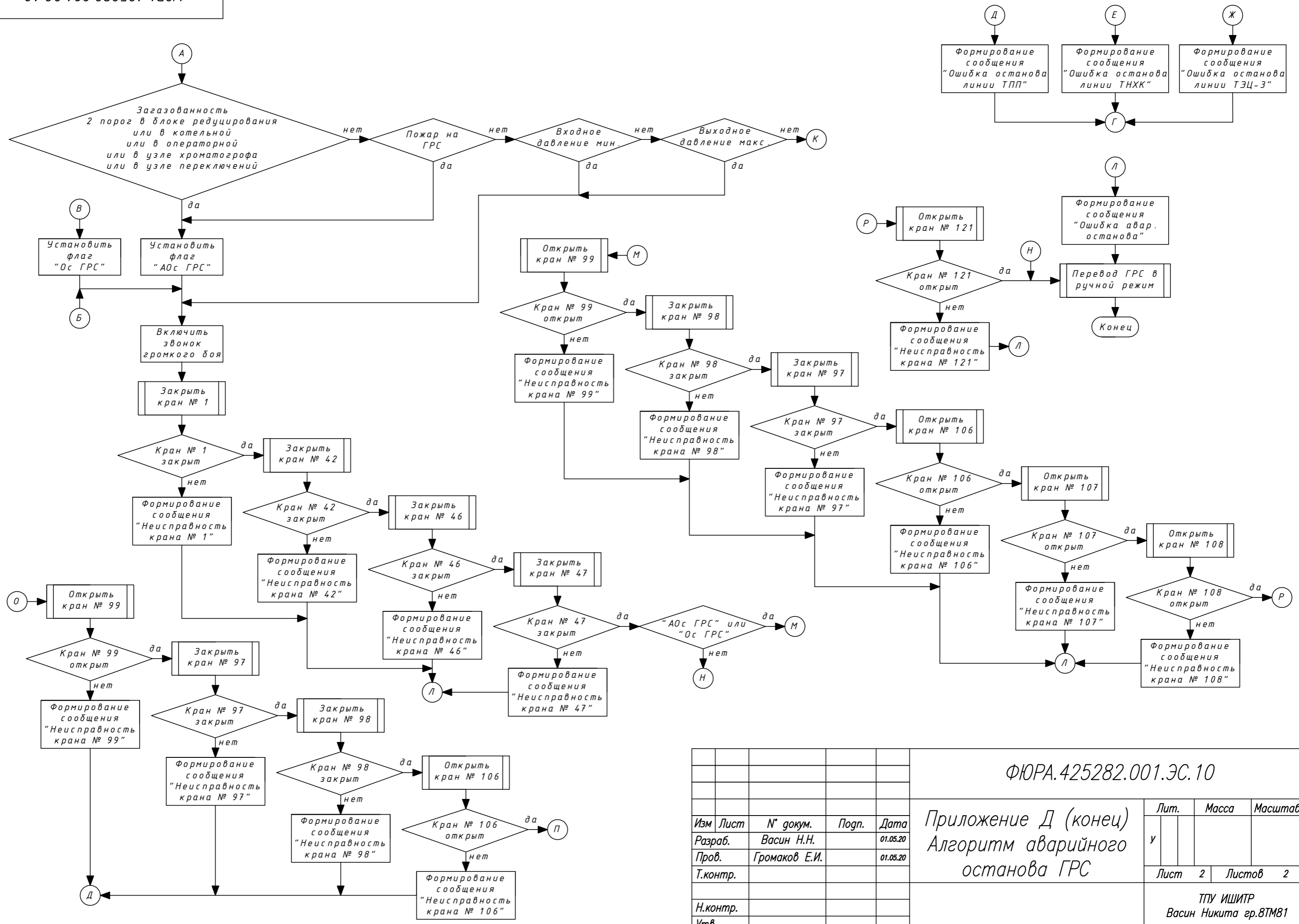
Погр. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Погр. и дата

Инв. № подл.



ФЮРА.425282.001.ЭС.10

Приложение Д (конец)  
Алгоритм аварийного  
останова ГРС

Изм	Лист	№ докум.	Погр.	Дата
Разраб.		Васин Н.Н.		01.05.20
Пров.		Громаков Е.И.		01.05.20
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Лит.	Масса	Масштаб
у		
Лист 2	Листов 2	
ТПУ ИШИТР Васин Никита гр.8ТМ81		

**Приложение Е**  
**(справочное)**

**Applying wireless technology for automated control of a gas distribution system**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Васин Никита Николаевич		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Пичугова Инна Леонидовна	—		

## Process description

The initial functional diagram of the automation of GDS-4 of Tomsk industrial site is presented in Appendix B.

The gas distribution station is designed for reducing gas when it is delivered to industrial consumers, utilities and gas distribution organizations with the specified flow rate, pressure, the necessary degree of odorization, cleaning and quality control [40].

Gas enters four multicyclone dust collectors (the first dust collector is not in operation) through the inlet valve № 1 as it can be seen from the diagram presented in Appendix B. The gas enters the reduction unit after purification, where there are eleven reduction lines. Gas is reduced for the consumer of TPP-3 through five lines. Pressure regulators of the RDU-80-100 type are installed on two of these lines. The LORD pressure regulators are located on two other lines. A constricting device is located on the constant flow line.

Three reduction lines are needed to lower gas pressure for Tomsk Petrochemical Plant. Gas pressure regulators of the RDU-80-100 type are located on two of three lines. The restriction device is located on the constant flow line.

The last three reduction lines are used for Tomsk industrial site. LORD pressure regulators are located on all lines. Gas enters the metering stations after reduction. Metering of gas occurs separately for each consumer there. The diaphragms are located on the lines of Tomsk Petrochemical Plant and the Cogeneration Plant in metering stations. The gas meter is located on the line of Tomsk industrial site. In addition, bypass is available on this line.

Gas is sampled for chemical analysis after the gas metering unit on the cogeneration line. It is located only on one line. A similar gas composition is available on two other lines. Further, the gas enters the switching unit through the outlet valves № 42, № 46 and № 47. The gas is odorized to give a specific smell before serving consumers.

The odorant is stored in an underground tank. The level value is transmitted to the automatic control system of the gas distribution station. Condensate from the multi-cyclone dust collectors enters the underground condensate collection tank. The level value is also transmitted using telemechanics. An underground methanol tank is located on the territory of the gas distribution station. Methanol is needed to prevent the appearance or disposal of hydrate plugs. The level value in this tank is not transmitted to the automatic control system of the gas distribution station.

The gas sensors are located in rooms such as a chromatograph unit, an operator room, a boiler room, a gas reduction unit, and a switching unit. In addition to a methane gas pollution sensor, a carbon monoxide gas pollution sensor is also available in the boiler room.

Gas temperature and pressure sensors are located at the inlet and outlet of the gas distribution station. The values are transferred to the automatic control system of the gas distribution station. Gas differential pressure sensors are located on the dust collectors. They are necessary to fix filter contamination. Values are also transmitted using telemechanics. Two sirens are available on the territory to signal in the event of an accident at a gas distribution station.

The mnemonic diagram of the gas distribution station of Tomsk industrial site is shown in Figure 4.1. Open valves are marked in green. Closed valves are marked in red. Valves without remote control are shown in blue. The gas temperature and pressure are indicated at the inlet and outlet of the gas distribution station. In addition, information on the first and second threshold of gas pollution in each block is presented on the mnemonic diagram.

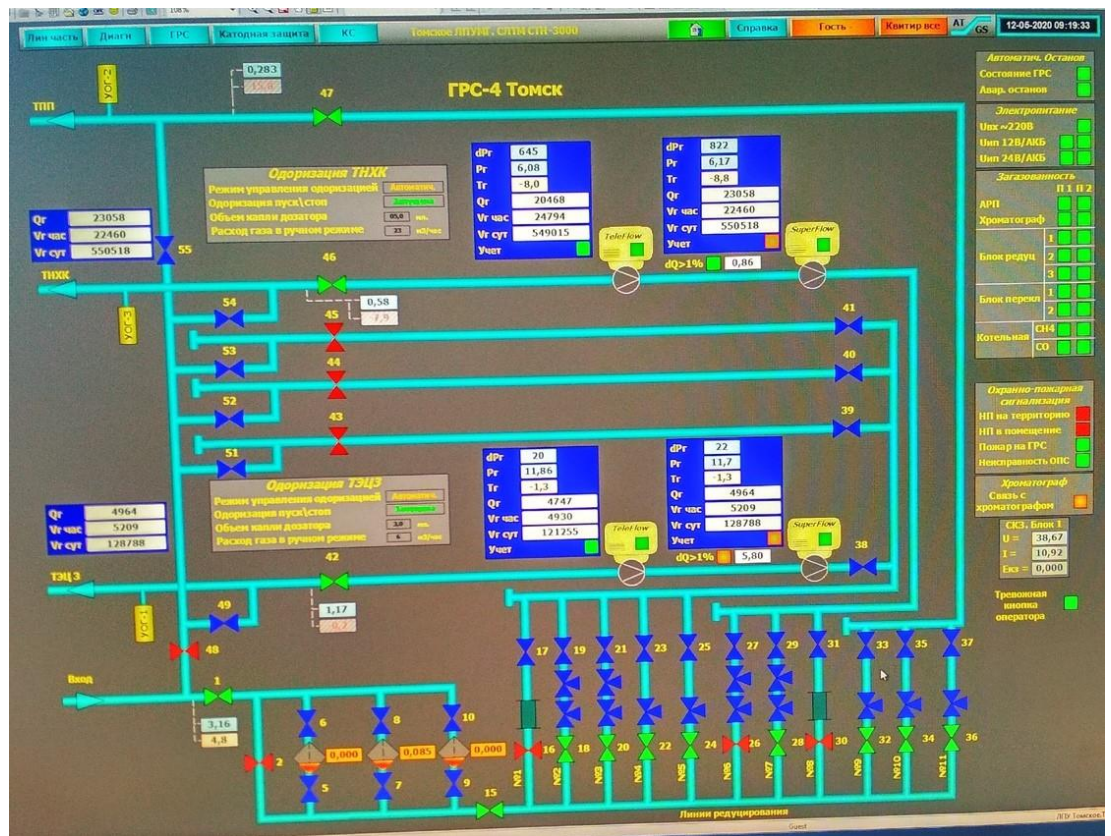


Figure 4.1. The mnemonic diagram of the gas distribution station

The modified functional diagram of the automation of the gas distribution station of Tomsk industrial site is presented in Appendix C.

The following changes are presented in this diagram:

- sensors with a unified current signal are replaced by wireless;
- a wireless methanol level sensor has been added to the underground methanol tank;
- electro-pneumatic control units are replaced by wireless position monitors;
- wireless position monitors have been added to the valves before and after the gas meter on the line of Tomsk industrial site and to the valve located on the bypass of the gas meter;
- wireless position monitors are added to valves located on the candles of three consumer lines;
- A wireless position monitor is added to the high pressure candle valve.

The odorant level value can be transmitted in real time using a wireless level sensor. The operator of the gas distribution station and the dispatcher will constantly be able to monitor the level of methanol and make a decision on the timely filling of this tank.

Wireless position monitors on candle valves will allow the emergency stop of the gas distribution station with gas bleeding. These monitors on the valves of the gas meter will protect it from the destruction of the blades during an accident at the gas distribution station.

The structural diagram of the gas distribution station of Tomsk industrial site is shown in Figure 4.2.

This scheme is based on the principle of a three-level hierarchy.

The lower level includes wireless sensors for collecting information on the progress of the process and wireless position monitors for controlling pipeline valves. Wireless sensors, installed at the gas distribution station, transmit data to the wireless gateway using WirelessHART. Further, the data is transmitted to the automatic control system of the gas distribution station using Ethernet.

The middle level provides for the collection and primary processing of information from field level devices, control of the indicated parameters, data transmission (reception) to the upper level (from the upper level). Management commands are formed on the basis of information received at an intermediate level (automatically or by an operator). In this system, the middle level is represented by a distributed control system.

The concentration, processing and ordering (database formation) of information from the lower levels occurs at the upper level. Also, an indication of the necessary parameters, registration and storage of information is provided. The formation of reporting documentation and the implementation of management of technological modes of the system occurs here.

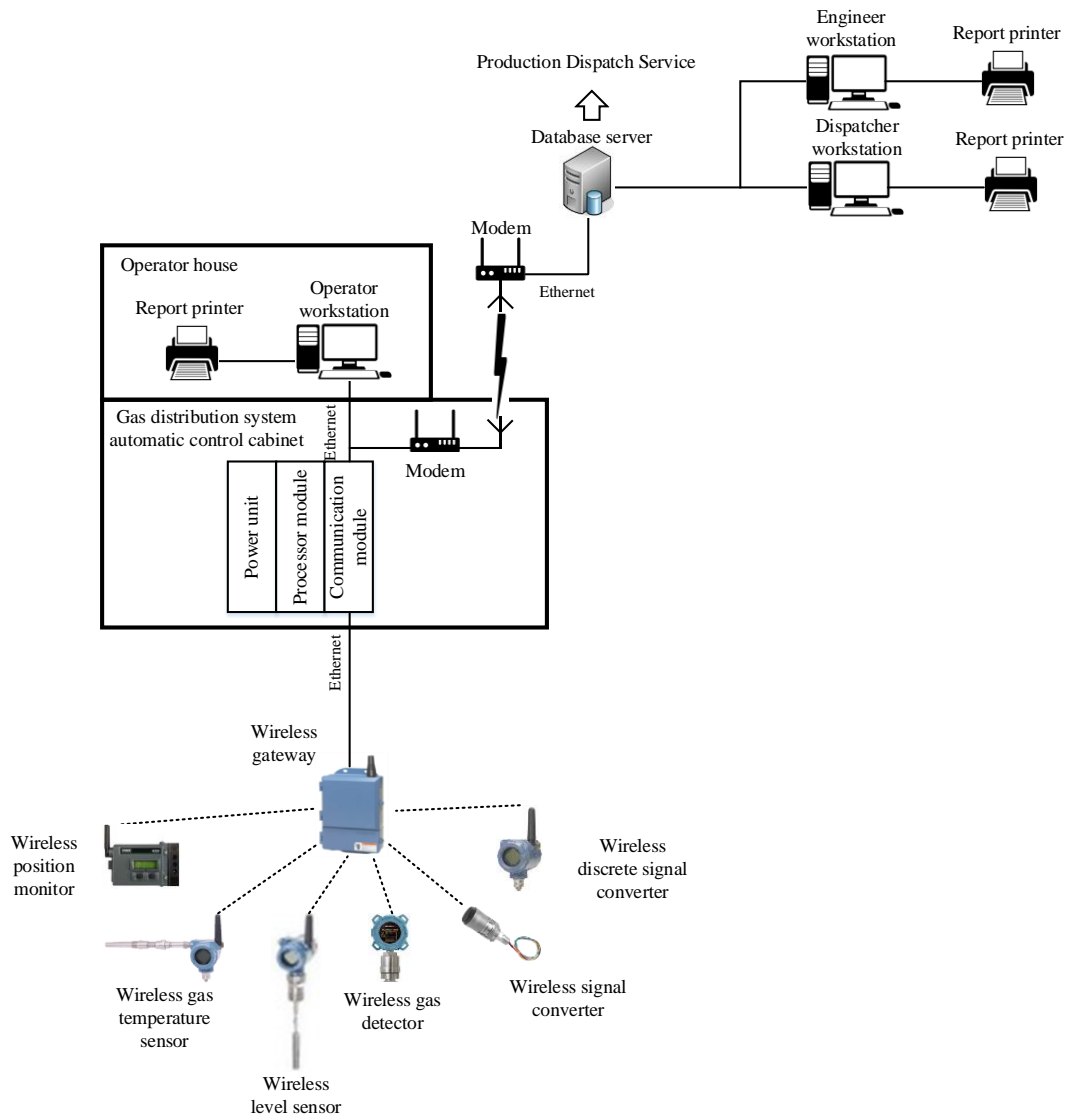


Figure 4.2. The structural diagram of the gas distribution station

### Algorithm development

An emergency stop algorithm is available at the gas distribution station of Tomsk industrial site. The inlet and outlet valves of all consumer lines will close if an accident occurs. Gas will be present in the pipes during an emergency stop because the candle valves do not have remote control. An explosion may occur during a fire in a gas distribution station. This entails a life threat to the maintenance staff. The gas shutdown emergency shutdown algorithm was developed to avoid this situation.

The emergency mode began to provide two algorithms for stopping the gas distribution station. These are gas bleeding algorithms and without gas bleeding.



An emergency shutdown of a gas distribution station with gas bleeding is performed when the following signals are recorded:

- the second threshold of gas contamination of the technological compartments of the gas distribution station;
- fire of technological compartments of a gas distribution station;
- operator presses the “Stop gas distribution station” button.

The following actions are performed:

- light and sound alarm is turned on;
- the inlet valve of the gas distribution station closes;
- the outlet valves of the gas distribution station close.

When confirming the closing of the taps:

- the valve on the high-pressure gas candle opens;
- the valve on the low-pressure gas candle opens;
- the automatic control system of the gas distribution station is switched to manual mode.

The emergency stop of the gas distribution station without bleeding gas is performed when the following signals are recorded:

- minimum input pressure;
- maximum outlet pressure.

The following actions are performed:

- light and sound alarm is turned on;
- the inlet valve of the gas distribution station closes;
- the outlet valves of the gas distribution station close;
- the automatic control system of the gas distribution station is switched to manual mode.

The launch algorithm for a gas distribution station was developed in addition to the emergency shutdown algorithm for a gas distribution station with gas bleeding. This algorithm will exclude the human factor when starting the gas distribution station after an emergency stop. The operator or dispatcher will be able to start the gas

distribution station from his workplace with one button. They will not consistently carry out a list of commands for opening and closing the required valves.

### **Development launch algorithm of the gas distribution station**

The block diagram of launch algorithm of the gas distribution station is presented in Appendix D. The block diagram is made in accordance with the State Standard 19.701-90 [41]. The algorithm starts when the «Start gas distribution station» button is pressed.

The closure of valve № 121 on the high pressure candle is checked first. After that, low-pressure candle valves (valve № 106 on the line of Tomsk industrial site, valve № 107 on the line of Tomsk Petrochemical Plant and valve № 108 on the line of the Cogeneration Plant) are checked for closure. If the valves are open, then the error message about the start of the gas distribution station comes to the screen of the dispatcher or the operator of the gas distribution station. An emergency shutdown of the gas distribution station occurs.

It is necessary to open the valve № 99 on the bypass line of the gas meter located on the line of Tomsk industrial site before starting the gas distribution station. Due to this, its blades will not be damaged. Further, it is necessary to check that the outlet (№ 98) and input (№ 97) valves of the gas meter are closed. If all the candle valves and the bypass valve are closed, the outlet valve on the line of Tomsk industrial site № 47 opens. The inlet valves on the line of Tomsk industrial site № 32, № 34 and № 36 open after the opening of the outlet valve.

Next, it is necessary to launch the line of Tomsk Petrochemical Plant. The outlet valve № 46 opens and the inlet valves № 26, № 28 and № 30 open. The outlet valve № 42 opens and after the inlet valves № 16, № 18, № 20, № 22 and № 24 open to start the line of the Cogeneration Plant.

Next, the common inlet valve № 1 opens. After that, gas will begin to flow to consumers. The valves open before and after the counter № 97 and № 98. After that,

valve № 99 closes on the bypass of the gas meter. This is done so that the meter blades are not damaged by a sharp gas pressure. After these actions, the gas distribution station is switched to automatic mode.

A message about the malfunction of opening or closing a valve is generated when an error occurs. If the candle valve on one of the consumer lines has not closed, or all the input taps of one of the lines in the reduction unit have not opened, a message is generated about the malfunction of the corresponding line.

### **Development of an emergency shutdown algorithm for gas distribution with gas bleeding**

The block diagram of the emergency shutdown algorithm of the gas distribution station is presented in Appendix E. The block diagram is made in accordance with the State Standard 19.701-90 [41].

The dispatcher has the ability to choose automatic or manual mode of operation of the station. Usually the station is in automatic mode. If the operator of the gas distribution station or dispatcher wants to stop only one consumer line, then they put the station into manual mode. They press the appropriate button on the mnemonic. A window is displayed on the screen in which it is necessary to select a stop mode with gas bleeding or without gas bleeding. This is done after selecting a consumer who needs to be temporarily disconnected from the gas supply.

Actions in the corresponding branch of the flowchart of the algorithm begin to be performed after selecting the stop mode. The call is turned on when Tomsk industrial site is selected. It notifies maintenance personnel located on the territory of the gas distribution station about the emergency stop of the station or its individual line.

The inlet valves № 32, № 34 and № 36 close. They are located in the reduction unit. After that, the outlet valve № 47 of the consumer line of Tomsk industrial site closes. Further actions are performed in the developed algorithm, depending on the choice of the stop mode. A message that the line of Tomsk industrial site is

disconnected is displayed on the dispatcher's screen when selecting a mode without bleeding gas.

Valve № 99 on the bypass of the gas meter opens to ensure the integrity of the meter blades if the mode with gas bleeding was previously selected. After that, the inlet (№. 97) and output (№ 98) gas meter valves are closed. The valve on the candle № 106 opens. The message that the line of Tomsk industrial site is disconnected is formed after the opening and closing of the necessary valves.

A failure message of the corresponding valve is displayed on the screen when an error occurs when opening or closing the valves. Also, an error message about the shutdown of Tomsk industrial site line is displayed.

The bell will turn on when a stop at Tomsk Petrochemical Plant is selected. The inlet valves in the reduction unit № 26, № 28 and № 30 are closed, the outlet valve № 46 of this line is closed. Further, the candle valve № 107 opens if the mode with gas bleeding was previously selected. After that, a message that the line of Tomsk Petrochemical Plant is turned off is displayed.

The algorithm is identical for the consumer line of the Cogeneration Plant.

The dispatcher or operator of a gas distribution station can shut down the entire station in addition to shutting down one consumer. In this case, the call is turned on. The common inlet valve № 1 closes, the outlet valves of the three consumer lines № 42, № 46 and № 47 are closed. Depending on the stop mode, the bypass valve on gas meter № 99 opens, the inlet and outlet valves № 97 and № 98 of the meter are closed. Also, valves on low-pressure candles № 106, № 107 and № 108 open. The valve on a candle of a high pressure № 121 opens. The gas distribution station will be switched to manual mode after successful completion of all actions. The gas distribution emergency stop error message will be displayed on the dispatcher screen if a malfunction occurs at any step of the algorithm.

If the station is in automatic mode, an emergency shutdown of the gas distribution station can occur both with and without bleeding. Gas bleeding occurs when gas contamination occurs in any block or room located at the gas distribution

station. It also occurs when a fire occurs. This algorithm is identical to manual shutdown of a gas distribution station with gas bleeding.

If the outlet pressure exceeds the operating pressure by 15% or the inlet pressure is less than 15%, the emergency shutdown algorithm of the gas distribution station without bleeding the gas is started. This algorithm is identical to stopping the gas distribution station in manual mode without gas bleeding. The operating pressure for Tomsk industrial site is 0,3 MPa. The operating pressure is 0,6 MPa for Tomsk Petrochemical Plant. The operating pressure is 1,2 MPa for the Cogeneration Plant.

### **Analysis of the results**

An analysis of a promising gas distribution station control technology was carried out on the basis of autonomous instrumentation.

The devices considered in this work can form a wireless sensor network. It has the attributes of self-organization and self-healing. Thanks to self-healing, the network is restored after the failure of sensor nodes or communication channels. The necessary connections will be established after it organizes itself. Wireless sensor network can perform its function at an acceptable level. If an obstacle is detected in the network, the devices will automatically determine the optimal alternative route. The route will be immediately created and information transfer will resume.

The network considered in the work has a dynamic topology. This allows the network to organize itself. This feature provides reliable automatic operation and simplifies network deployment, expansion and reconfiguration. Thanks to this, expertise in wireless technology is not required. Devices automatically find the most convenient communication channels.

The choice of autonomous sensors was aimed at the presence of a dynamic topology, an explosion-proof shell, an ambient temperature range, as well as the presence of a wide range of devices from one company. The choice was made in favor of Emerson after analyzing the autonomous instruments of several companies, which

are the largest suppliers of these sensors in the world. Selected autonomous sensors have a flameproof enclosure and are suitable for use in areas with low temperatures. The system automatically detects the gateway and wireless sensors after installing the necessary autonomous instrumentation at the gas distribution station. This is the key to quick and easy commissioning. The wireless network is built using autonomous instrumentation. It will allow staff to anticipate unwanted events at the gas distribution station. Due to this, there is no need to eliminate their consequences. Maintenance will focus on repairing faulty equipment. Repair of correctly functioning equipment will not need to be done. It is possible to upgrade HART-enabled instruments within the WirelessHART system using the Rosemount 775 wireless module. This system provides wireless access to diagnostic and technological data that were previously unavailable. Emerson standalone sensors have a battery replacement function. This saves money on replacing the entire sensor when the battery is low. It also allows workers to combine planned instrument maintenance with power replacement. It is possible to use solar energy in addition to removable batteries to power sensors.

The technology of advanced management of gas transport to the consumer based on autonomous control and measuring instruments has negative aspects in addition to positive aspects.

Introducing this technology to an existing gas distribution station is expensive. Lack of experience in the use of autonomous devices at “Gazprom transgaz Tomsk” will complicate the use and maintenance of the system in the early stages of its operation. In addition, the presence of a large number of pipes and walls of the block boxes will weaken the signal transmission from the wireless sensors to the gateway. Dynamic topology will eliminate this problem. A fixed amount is allocated to purchase the necessary equipment and tools for the instrumentation and automation section annually. Due to the fact that the batteries of wireless sensors must be changed after a certain number of years, most of the allocated funds will be spent specifically to provide power to the sensors. It follows that fewer funds will be allocated to the rest of

the equipment. Raising the annual amount for the purchase of necessary materials and equipment is the way out of this situation.

Wireless devices are used at temporary or newly designed gas distribution stations. Workers will place wireless devices, install a gateway, add devices to the network when applying this technology to temporary stations. The station will be ready for commissioning.

The development of algorithms for starting a gas distribution station and an emergency stop without bleeding gas was another objective of this work. The implementation of these algorithms in the system will reduce the human factor in the event of an emergency at a gas distribution station. It will also reduce the response time to this accident and avoid the occurrence of an explosion or equipment breakdown.

## **Conclusion**

An analysis of promising technological directions in the field of automation (intellectualization) of gas production and gas processing technological processes has been carried out in this work. The scope of autonomous sensors at production facilities was selected as a promising direction. The gas distribution station of the Tomsk industrial site is this facility.

A detailed comparison of the wireless sensors of various companies has been carried out in this area. Companies are leaders in the global market. The choice was made in favor of Emerson wireless sensors. The line of wireless sensors presented by the company has all the types of sensors necessary for use in a gas distribution station. According to the characteristics, the presented Emerson sensors are one of the best compared in this work.

The launch algorithm of the gas distribution station has been developed in conjunction with the analysis of the use of wireless sensors in the gas distribution station. Thanks to the algorithm, the risk of an accident due to a human fault will disappear when the gas distribution station is put into operation. The dispatcher or

operator of the gas distribution station in the required order will perform all actions automatically. Thanks to the new algorithm, the integrity of the gas meter located on the line of Tomsk industrial site will be preserved. In addition, the ability to create an emergency shutdown algorithm for a gas distribution station with gas bleeding appears when remote control of candle valves is available. Gas will not accumulate in the pipes when bleeding. This will prevent the explosion at the gas distribution station in the event of an emergency. This algorithm will save the lives and health of the staff at the station.

Implementing wireless technology at an existing gas distribution station is quite expensive. This technology is more suitable for a temporary gas distribution station. It is impossible to suspend the supply of gas to consumers during the overhaul at a gas distribution station. A temporary gas distribution station is installed next to a non-working station for constant gas supply. Gas is supplied to consumers through it. The time for connecting and putting temporary gas distribution stations into operation will be significantly reduced with the introduction of wireless technology on them. Also, this technology can be used at new stations to pre-design more favorable locations for wireless sensors and gateways.

## **References**

40. Gazprom Organization Standard 2-3.5-454-2010. Operating rules of gas pipelines. Moscow, Gazprom Publ., 2010. 174 p. (In Russian)

41. State Standard 19.701-90. Unified system for program documentation. Data, program and system flowcharts, program network charts and system resources charts. Documentation symbols and conventions for flowcharting. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 23 p. (In Russian)