

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Модернизация системы противоаварийной защиты резервуарного парка хранения сжиженного природного газа

УДК 004.896:622.279.8-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т71	Росляков Максим Витальевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель ОАР ИШИТР	Семенов Николай Михайлович			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

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

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

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством,
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с

Код компетенции	Наименование компетенции
	использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения

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

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

Уровень образования – Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

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

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Семенов Николай Михайлович			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ А.В. Воронин
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-8Т71	Росляков Максим Витальевич

Тема работы:

Модернизация системы противоаварийной защиты резервуарного парка хранения сжиженного природного газа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№47-8/с от 16.02.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования: Автоматизированная система противоаварийной защиты резервуарного парка хранения сжиженного природного газа. Цель работы: Модернизация системы противоаварийной защиты путем замены устаревшего оборудования. Режим работы: Непрерывный.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Описание технологического процесса. 2. Модернизация существующих решений. 3. Разработка структурной схемы автоматизированной системы. 4. Разработка функциональной схемы автоматизации. 5. Выбор средств автоматизации.

	6. Разработка схем соединения внешних проводок. 7. Разработка алгоритмов управления. 8. Разработка экранных форм.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Общая функциональная схема. 2. План производственного комплекса Пригородное. 3. План терминала отгрузки нефти. 4. Трехуровневая структурная схема АС. 5. Функциональная схема автоматизации. 6. Перечень входных/выходных сигналов. 7. Схема соединений внешних проводок. 8. Блок-схемы алгоритмов управления. 9. Экранные формы. 10. Заземление оборудования.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Верховская Марина Витальевна, доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Федоренко Ольга Юрьевна, профессор ООД ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	11.04.2022
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Семенов Николай Михайлович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т71	Росляков Максим Витальевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Студенту:

Группа		ФИО	
3-8Т71		Росляков Максим Витальевич	
Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и роботизации
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли

Тема ВКР:

Модернизация системы противоаварийной защиты резервуарного парка хранения сжиженного природного газа	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- оклад инженера – 36505 руб. в месяц; - оклад руководителя проекта – 43806 руб. в месяц; - транспортно-заготовительные расходы 12 %.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- накладные расходы 14 %; - северная надбавка 50 %; - районный коэффициент 1,6 (Сахалинская область).
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Расчет инновационного потенциала НТИ	- SWOT-анализ; - Анализ конкурентных технических решений.
2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	- расчет материальных затрат; - расчет основной и дополнительной заработной платы; - расчет отчислений во внебюджетные фонды; - расчет бюджета проекта.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Матрица SWOT. 2. Диаграмма Ганта.	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т71	Росляков Максим Витальевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
3-8Т71		Росляков Максим Витальевич	
Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматике и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли

Тема ВКР:

Модернизация системы противоаварийной защиты резервуарного парка хранения сжиженного природного газа	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> резервуарный парк хранения и отгрузки СПГ в танкеры-газовозы.</p> <p><i>Область применения:</i> производство газа, хранилища сжиженного природного газа (СПГ)</p> <p><i>Рабочая зона:</i> полевое помещение и территория резервуарного парка.</p> <p><i>Размеры рабочей зоны (Д*Ш):</i> 146*85 м. / 115*247 м (зона умеренного климата).</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> 35 шкафов Rittal (0,8*0,8*2,1) с станциями управления, 1 компьютер, 1 радиостанция, оборудование КИПиА, 2 резервуара, погружные насосы.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> переключение оборудования, плановый обход и осмотр оборудования, техническое обслуживание.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022). - ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Перечень опасных и вредных факторов. - ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. - ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. - ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования. - СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

	<p>- ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений / ГОСТ Р от 08 ноября 2013 г. № 55710-2013.</p> <p>- СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».</p> <p>- ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».</p> <p>- ГОСТ 17.2.3.01-86 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов.</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; - повышенный уровень шума; - повышенный уровень общей вибрации; - производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего. <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - наличие электростатического поля, чрезмерно отличающегося от поля Земли; - электрический ток; - укусы насекомых или животных; - возбудители инфекционных заболеваний человека, носителями которых являются животные и (или) насекомые, с которыми в контакте находится работающий; <p>Средства коллективной защиты: осветительные приборы, знаки безопасности, защитные заземления, устройства автоматического контроля и сигнализации, устройства автоматического отключения.</p> <p>Средства индивидуальной защиты: костюм специальный защитный, ботинки виброизолирующие, перчатки, каски защитные, очки защитные, противошумные наушники,</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: отсутствует.</p> <p>Воздействие на литосферу: отсутствует.</p> <p>Воздействие на гидросферу: отсутствует т.к. при разливе СПГ испаряется без остатка.</p> <p>Воздействие на атмосферу: незначительное, в случае неконтролируемого выброса отпарного газа.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС: техногенные аварии (пожар, переполнение резервуара, превышение</p>

	давления, образование вакуума, разрушение резервуара. Наиболее типичная ЧС: взрыв/пожар, разлив СПГ.
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.04.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Г71	Росляков Максим Витальевич		

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 150 страниц машинописного текста, 32 таблицы, 52 рисунка, 30 формул, 1 список использованных источников из 39 наименований, альбом графической документации, состоящий из 21 приложения.

Ключевые слова: ProSafe-PLC, ProSafe-RS, Yokogawa, СПГ, Centum VP, резервуар для хранения, FISHER, программируемый логический контроллер, ПИД-регулятор, SCADA-система, ПК Пригородное, отпарной газ.

Объектом исследования является резервуарный парк хранения сжиженного природного газа.

Цель работы – Модернизация системы противоаварийной защиты путем замены устаревшего котроллера противоаварийной защиты ProSafe-PLC.

В процессе исследования проводился анализ технологического процесса, разработка структурной и функциональной схемы автоматизации, схемы внешних проводок, схемы противоаварийной защиты, диаграммы причин и следствий резервуара СПГ, математическое моделирование контура регулирования давления.

В результате исследования была выполнена модернизация системы противоаварийной защиты резервуарного парка хранения сжиженного природного газа на базе контроллера противоаварийной защиты ProSafe-RS, с применением SCADA-системы Centum VP.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: применяемые в проекте средства автоматизации по месту имеют климатическое исполнение, рассчитанное на температуру окружающей среды от минус 40 °С до плюс 40 °С и имеют взрывобезопасное исполнение. Исполнительные устройства должны обеспечивать работу в диапазоне температур от минус 165 °С до плюс 75 °С. и приводиться в действие пневматически.

Область применения: разработанная система может применяться для контроля, защиты и сбора данных на установках по хранению СПГ.

СОДЕРЖАНИЕ

Глоссарий.....	18
Обозначения и сокращения.....	19
Введение.....	21
1 Основные задачи и цели модернизации противоаварийной системы.....	23
1.1 Назначение и задачи создания автоматизированной системы управления резервуарным парком	23
1.2 Характеристика объекта автоматизации	24
1.3 Требования к системе	24
1.3.1 Требования к числу уровней иерархии и степени централизации ..	24
1.3.2 Требования к режимам функционирования	25
1.4 Требования к видам обеспечения	25
1.4.1 Требования к техническому обеспечению	25
1.4.2 Требования к программному обеспечению	27
1.4.3 Требования к метрологическому обеспечению	27
2 Основная часть	29
2.1 Процесс сжижения природного газа.....	29
2.2 Описание технологического процесса резервуарного парка	33
2.2.1 Режим ожидания.....	33
2.2.2 Режим выгрузки.....	34
2.2 Выбор архитектуры автоматизированной системы	36
2.3 Разработка структурной схемы автоматизации.....	37
2.3.1 Полевой уровень.....	37
2.3.2 Контроллерный уровень	38
2.3.3 Диспетчерский уровень	38
2.3.4 Размещение оборудования	38
2.4 Разработка функциональной схемы автоматизации	39
2.5 Разработка схемы информационных потоков резервуарного парка	40
2.6 Комплекс аппаратно-технических средств	44
2.6.1 Уровнемер	44
2.6.2 Преобразователи давления	46
2.6.3 Манометры.....	48
2.6.4 Температурные элементы.....	48
2.6.4 Преобразователи температуры	49

2.6.6	Исполнительные элементы	50
2.6.7	Программируемый логический контроллер управления	54
2.6.8	Предохранительный клапан	55
2.6.9	Вакуумный клапан давления.....	56
2.6.10	Полевой коммутатор	57
2.7	Схема внешних проводок	58
2.8	Описание системы противоаварийной защиты резервуарного парка хранения СПГ	61
2.8.1	Модернизация системы противоаварийной защиты.....	63
2.8.2	Модернизация среднего уровня АСУТП.....	64
2.8.3	Модернизация верхнего уровня АСУТП.....	68
2.9	Разработка программного, информационного и алгоритмического обеспечения	70
2.9.1	Разработка алгоритма сбора данных измерений с уровнемеров.....	70
2.9.2	Разработка алгоритма пуска/останова погружного насоса.....	71
2.9.3	Разработка алгоритма системы автоматического регулирования давления продукта на входе в резервуар	71
2.9.4	Разработка программного обеспечения для программируемых логических контроллеров	77
2.10	Экранные формы автоматизированной системы управления технологическим процессом.....	77
2.10.1	Разработка мнемосхем SCADA-системы в среде Centum VP	79
2.10.2	Разработка трендов в среде PI ProcessBook.....	81
3	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	83
3.1	Технология QuaD	83
3.2	SWOT-анализ	84
3.3	Структура работ в рамках научного исследования.....	87
3.4	Определение трудоемкости выполнения работ.....	89
3.5	Разработка графика проведения научного исследования.....	90
3.6	Расчет материальных затрат НТИ.....	92
3.6.1	Расчет амортизации оборудования.....	93
3.6.2	Основная заработная плата исполнителей темы.....	94
3.6.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	96
3.6.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	97

3.6.5 Накладные расходы.....	97
3.7 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования.....	98
3.7.1 Определение финансовой эффективности исследования	98
3.7.2 Определение ресурсоэффективности исследования	100
3.7.3 Определение ресурсоэффективности исследования	101
Вывод по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	101
4 Социальная ответственность	103
Введение.....	103
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	103
4.2 Производственная безопасность.....	104
4.2.1 Анализ вредных производственных факторов	106
4.2.1.1 Освещение.....	106
4.2.1.2 Шум	106
4.2.1.3 Вибрация	108
4.2.1.4 Отклонение показателей микроклимата	109
4.3.1 Анализ опасных производственных факторов	110
4.3.1.1 Электромагнитное излучение	110
4.3.1.2 Поражение электрическим током.....	111
4.3 Экологическая безопасность.....	112
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	114
Вывод по разделу социальная ответственность.....	115
Заключение	117
Список использованных источников	118
Приложение А (обязательное) Общая функциональная схема резервуара ..	122
Приложение Б (справочное) План производственного комплекса Пригородное	124
Приложение В (справочное) План терминала отгрузки нефти.....	125
Приложение Г (обязательное) Трехуровневая структурная схема АС	126
Приложение Д (обязательное) Функциональная схема автоматизации.....	128
Приложение Е (справочное) Перечень входных/выходных сигналов	130
Приложение Ж (справочное) Основные технические характеристики уровнемера Honeywell ENRAF 854 ATG	131

Приложение З (справочное) Основные технические характеристики преобразователя избыточного давления Yokogawa EJA430A	132
Приложение И (справочное) Основные технические характеристики преобразователя дифференциального давления Yokogawa EJA110A.....	133
Приложение К (справочное) Основные технические характеристики преобразователя температуры Yokogawa YTA-320	134
Приложение Л (справочное) Основные технические характеристики блока управления полевыми устройствами и модуля связи	135
Приложение Л (продолжение).....	136
Приложение М (справочное) Принцип работы клапана Anderson Greenwood серии 96А	137
Приложение Н (справочное) Общее описание полевого коммуникатора 475	138
Приложение О (обязательное) Схема внешних проводок Fieldbus	139
Приложение П (обязательное) Схема внешних проводок.....	141
Приложение Р (обязательное) Схема ПАЗ	143
Приложение С (обязательное) Диаграмма причин и следствий резервуара СПГ	145
Приложение Т (справочное) Основные технические характеристики маршрутизатора AVR10D V-net	147
Приложение У (справочное) Алгоритм сбора данных измерений уровня СПГ в резервуаре	148
Приложение Ф (справочное) Алгоритм пуска/останова погружного насоса выгрузки СПГ	149
Приложение Х (справочное) Заземление оборудования.....	150

Глоссарий

В данной работе применимы следующие определения:

СПГ (Сжиженный природный газ) – представляет собой прозрачную, бесцветную и нетоксичную жидкость, которая образуется при охлаждении природного газа до минус 162 °С;

BOG (отпарной газ) – газообразная смесь, вызывающая повышение давления внутри резервуара за счет тепла, поступающего в криогенный резервуар во время хранения и транспортировки сниженного природного газа;

SCADA (Диспетчерское Управление и Сбор Данных) – представляет собой систему программных и аппаратных элементов, позволяющую промышленным организациям собирать данные и управлять технологическими процессами;

ENRAF ATG – уровнемер представляет собой сложное устройство, которое измеряет уровень жидкости и может быть запрограммирован на измерение двух дополнительных параметров (температура, давление пара, измерение плотности);

FCS – (полевая станция управления) – станция управления, включающая программное и аппаратное обеспечение;

ФЮРА.425280 – это код организации разработчика проекта (ТПУ); 425280 – это код классификационной характеристики проектной продукции по ГОСТ 3.1201-85 (в соответствии с шестизначной классификационной характеристикой ОКП этот код означает проектирование распределенного автоматизированного управления технологическим объектом);

FF (Foundation Fieldbus) – локальная сеть для управления процессами, использующая общую проводку для питания устройств и передачи сигналов между устройствами;

HART (магистральный адресуемый дистанционный преобразователь) – глобальный стандарт для отправки и получения цифровой информации по

аналоговым проводам между интеллектуальными преобразователями и системой управления или мониторинга;

Fieldbus terminator (нагрузочный резистор) – это компонент системы Fieldbus, который является эквивалентом конденсатора 1 мкФ и резистора 100 Ом, соединенных последовательно друг с другом;

SIS (система противоаварийной защиты) – система используется для контроля состояния значений и параметров установки в эксплуатационных пределах, а при возникновении условий риска должны вызывать аварийные сигналы и переводить установку в безопасное состояние или в состояние останова;

F&G (Fire, Gas and Smoke detection system) – система обнаружения и сигнализации пожара, газа и задымления;

CCTV (Closed Circuit Television System) – система телевидения замкнутого контура;

TLDS (Tank Leak Detection System) – оптоволоконная система обнаружения протечки резервуара;

Воздух КИП – чистый источник воздуха, не содержащий влагу и твердых частиц, который используется для контрольно-измерительных приборов;

MOS (переключатель блокировки для обслуживания) – переключатель блокировки для технического обслуживания используется для блокировки всех полевых входов, предназначенных для отключения объекта, чтобы облегчить обслуживание устройств по месту без прерывания работы установки.

Обозначения и сокращения

В данной работе применимы следующие обозначения и сокращения:

СПГ – сжиженный природный газ;

ТОН – терминал отгрузки нефти;

РП – резервуарный парк;

КОГ – компрессор отпарных газов;

PCY – распределительная система управления;

АРМ – автоматизированное рабочее место;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

КИП – контрольно-измерительные приборы;

MOV (Motor Operated Valve) – клапан с электроприводом;

PCV (Pressure Control Valve) – регулирующий клапан давления;

HIS (Human Interface station) – рабочая станция оператора;

ПАЗ – система противоаварийной защиты;

FCU (Field Control Unit) – блок управления полевыми устройствами;

NU (Node Unit) – блок связи с полевыми устройствами.

Введение

Нефтегазовая промышленность – одна из важнейших в мире. Она также является одной из самых инновационных, и существует множество способов использования новых технологий и инноваций для повышения производительности. Одним из наиболее важных способов технологического улучшения отрасли является внедрение автоматизации. Как и в любой другой отрасли, когда возникает тема автоматизации, она обременена обещаниями ускоренных процессов и безопасной рабочей среды, а также множеством опасений по поводу безопасности рабочих мест.

Природный газ обеспечивает чистую, надежную и доступную энергию по всему миру. Природный газ криогенен, то есть он переводится в жидкое состояние при очень низких температурах. Природный газ можно эффективно и безопасно транспортировать в виде жидкости из районов с богатыми ресурсами в районы с высоким спросом.

Системы резервуаров для хранения СПГ (сжиженный природный газ) поддерживают газ в жидком состоянии для хранения или транспортировки. Эти системы резервуаров сложны и высокотехнологичны. В системах хранения СПГ используется автоматическое охлаждение, чтобы поддерживать постоянное давление и температуру в резервуаре.

Хранение нефти и природного газа помогает сгладить несоответствия спроса и предложения. Компании хранят больше, когда цены ниже, чем они хотели бы, и продают, когда цены высоки. Самый дешевый способ хранения – подземные пространства, например, истощенная залежь. Этот метод в основном используется для природного газа. Готовые нефтепродукты нельзя хранить в подземных природных пространствах в соответствии с правилами. Наземные резервуары используют для сырой и очищенной нефти, готовых нефтепродуктов и природного газа. Танкеры используют для временного хранения, когда сухопутные хранилища загружены, такой способ хранения является наиболее дорогостоящим вариантом. В резервуарных парках

хранения и распределения технологические приборы КИПиА устанавливаются непосредственно в трубопровод или в резервуар для хранения, где системы измерения и безопасности резервуаров гарантируют, что резервуары не будут переполнены.

Необходимость применения систем ПАЗ устанавливается «общими правилами взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденных приказом Ростехнадзора № 96 от 11.03.2013.

Основная цель систем ПАЗ – контроль измеряемых параметров установки в эксплуатационных пределах, а при возникновении условий риска они должны вызывать аварийные сигналы и переводить установку в безопасное состояние или даже в состояние останова.

Система ПАЗ комплекса СПГ должна обеспечивать аварийную остановку комплекса в случаях возникновения пожара на комплексе; падения давления рабочего газа при использовании пневмоприводной отсечной арматуры; также при достижении предельного уровня СПГ в криогенном резервуаре; отключении электроснабжения комплекса; при срабатывании датчиков загазованности в рабочей зоне криогенных резервуаров (в пределах защитного ограждения) или на площадке налива; если оператор комплекса СПГ подал сигнал в целях упреждения нежелательного развития аварийной ситуации или в других, непредвиденных аварийных ситуациях.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация автоматизированной системы управления для резервуарного парка СПГ. Парк хранения СПГ входит в состав производственного комплекса Пригородное, который включает в себя завод по производству сжиженного природного газа и терминал отгрузки нефти (ТОН).

Завод СПГ имеет высокий уровень автоматизации. Но поскольку он был построен в 2009 году, то требуется модернизация уже устаревших систем, чтобы в дальнейшем обеспечивать безопасность комплекса.

1 Основные задачи и цели модернизации системы противоаварийной защиты

Данное задание описывает задачу подбора и замены оборудования автоматизированной системы безопасности среднего уровня резервуарного парка хранения сжиженного природного газа.

Обоснованием выполнения задания является необходимость замены уже используемой устаревшей платформы Yokogawa Prosafe-PLC.

1.1 Назначение и задачи создания автоматизированной системы управления резервуарным парком

Парк хранения СПГ соединяет в одну схему непрерывный процесс сжижения газа с дискретным процессом выгрузки СПГ. От своевременной отгрузки СПГ зависит работа двух технологических линий, которые непрерывно сжижают природный газ.

Резервуарный парк хранит газ в охлаждённом состоянии при температуре примерно минус 160 °С под давлением, немного превышающим атмосферное. Из резервуаров СПГ периодически загружается в суда.

Задачами автоматизации резервуарного парка хранения сжиженного природного газа являются:

- обеспечение безопасности хранения углеводородов;
- своевременная отгрузка сжиженного природного газа без прерывания процесса сжижения СПГ;
- обеспечение сохранности продукции;
- повышение эффективности производства.

1.2 Характеристика объекта автоматизации

Парк хранения составляет два резервуара для хранения на земле. СПГ хранится при давлении чуть выше атмосферного в двустенных, изолированных резервуарах, предназначенных для хранения жидкости при криогенных температурах. Сжиженный газ поступает с промпредприятия в РП, далее погружные криогенные насосы откачивают его на судно. Изоляция разработана таким образом, чтобы минимизировать приток тепла и уменьшить потери продукта из-за вскипания. Скорость кипения из такого резервуара составляет около 0,05 % объема в день. Емкость одного резервуара 100 000 м³. Размер среднего танкера для перевозки СПГ составляет 160 000 м³.

Надземные резервуары для хранения СПГ имеют два слоя защитной оболочки. Первичная оболочка обеспечивается внутренним резервуаром, в котором находится СПГ. Вторичная оболочка представляет собой построенный второй резервуар вокруг первичного, который защищает от разрушения или утечки в первичном резервуаре.

Резервуары имеют теплоизоляцию для минимизации теплопередачи, уменьшения испарения жидкости и защиты конструктивных элементов из углеродистой стали от криогенных температур. Ниже днища резервуаров установлены нагревательные элементы для выдержки температуры на грунте в пределах между плюс 5 °С и плюс 10 °С для предотвращения вспучивания от воздействия мороза.

1.3 Требования к системе

1.3.1 Требования к числу уровней иерархии и степени централизации

Структура системы должна быть построена по трехуровневому принципу.

Нижний уровень содержит устройства, которые установлены непосредственно по месту, такие как датчики измерения уровня, давления, температуры, а также конечные элементы, такие как регулирующие и отсечные механизмы. На этом уровне осуществляется непосредственное наблюдение и управление технологическим процессом.

Средний уровень – это уровень контроллеров. Программируемый логический контроллер собирает информацию с нижнего уровня о состоянии технологического процесса и в соответствии с запрограммированным алгоритмом управления отправляет команды на исполнительные механизмы.

Верхний уровень состоит из блока визуального отображения или компьютера, являющегося интерфейсом оператора. Это уровень производственного контроля, который напрямую контролирует процесс. Рабочие схемы завода, причинно-следственные диаграммы аварийных сигналов и блокировок отображаются на разных страницах.

Общая функциональная схема комплекса технических средств резервуара приведена в приложении А.

1.3.2 Требования к режимам функционирования

Система должна обеспечивать непрерывную и бесперебойную работу РП в круглосуточном автоматическом режиме без постоянного присутствия персонала. В РП происходит постоянный процесс поступления СПГ с дискретным процессом выгрузки в танкер-газовоз.

1.4 Требования к видам обеспечения

1.4.1 Требования к техническому обеспечению

Температурный диапазон для оборудования, которое устанавливается на открытом воздухе, должно быть в диапазоне от минус 40 °С до плюс 40 °С.

Все приборы, подключенные к диспетчерской и панелям дистанционного управления, должны быть электронными типа SMART. Тип выхода для интеллектуальных преобразователей должен быть:

- для обеспечения противоаварийной защиты – (4 – 20) мА, HART от 4 до 20 мА;
- для контроля технологического процесса – Foundation Fieldbus.

Все исполнительные механизмы/ устройства управления с центрального пункта управления (ЦПУ) должны приводиться в действие пневматически. В качестве пневматического сигнала используется воздух КИП. Подача этого воздуха должна быть обеспечена независимым фильтром с регулятором.

Исполнительные устройства должны обеспечивать работу в диапазоне температур от минус 165 °С до плюс 75 °С.

Номинальная рабочая точка приборов должна находиться в диапазоне 35 – 75 % от всего диапазона.

Должны быть ручные искробезопасные устройства для конфигурации, онлайн-диагностики, настройки или калибровки электронных приборов из любой точки контура.

Электронные преобразователи должны быть с питанием от контура 24 В постоянного тока с выходным сигналом (4 – 20) мА, HART (4 – 20) мА и Foundation Fieldbus. По возможности электронные передатчики должны иметь встроенный ЖК дисплей.

Должны использоваться барьеры искрозащиты с гальванической развязкой между искробезопасными и искроопасными электрическими цепями. Все используемое оборудование во взрывоопасной зоне должно быть сертифицировано.

Уровень защиты оборудования от влаги и пыли должен быть не ниже IP65 (наивысший уровень защиты от пыли и способен выдержать струи воды под низким давлением со всех направлений).

1.4.2 Требования к программному обеспечению

Задачей выбора программно-технических средств реализации проекта автоматизированной системы является анализ вариантов и выбор компонентов, а также анализ их совместимости.

К программно-техническим средствам АС относятся измерительные приборы, исполнительные механизмы, контроллеры и системы сигнализации.

Измерительные приборы осуществляют непосредственное наблюдение за технологическим процессом, а управление происходит исполнительными механизмами, преобразуя электрическую энергию в механическую или иную физическую величину для воздействия на объект управления в соответствии с алгоритмом управления. Контроллер собирает информацию с полевого оборудования о состоянии технологического процесса и в соответствии с запрограммированным алгоритмом управления отправляет команды на исполнительные механизмы.

Производственный контроль, который напрямую контролирует процесс, реализуется блоками визуального отображения или компьютером, который является интерфейсом оператора. На разных страницах отображаются электронные схемы завода, диаграммы причин и следствий аварийных сигналов и блокировки.

1.4.3 Требования к метрологическому обеспечению

Все установленное оборудование должно иметь сертификат калибровки и протокол поверки с фактическими значениями метрологических характеристик средств измерений. В процессе эксплуатации все измерительные приборы должны проходить периодические проверки.

В таблице 1 указаны требования к погрешности измерительных приборов.

Таблица 1 – Требования к погрешности оборудования

	Наименование измеряемого параметра	Норма погрешности (не более)
1.	Давление входящего СПГ	±3 %
2.	Давление в резервуаре	±4 %
3.	Уровень в резервуаре	±1 мм
4.	Температура в резервуаре	±4 %
5.	Аварийный предохранительный клапан давления в резервуаре	±3 %
6.	Аварийный предохранительный клапан давления на выходе насоса	±3 %
7.	Поток на выгрузку	±3 %
8.	Вакуумный предохранительный клапан	±3 %

2 Основная часть

2.1 Процесс сжижения природного газа

Природный газ признан безопасным и экологически чистым топливом.

До того, как природный газ дойдёт до конечного потребителя, он проходит целую цепочку подготовки. Подготовка начинается с добычи на месторождении и транспортировки до завода по сжижению природного газа. Затем газ очищается, сжижается и хранится в специальных резервуарах. Следующий этап – выгрузка и переправка СПГ на завод, где происходит регазификация.

Производственный комплекс Пригородное входит в состав проекта Сахалин 2, оператором является компания «Сахалин Энерджи». Комплекс включает в себя завод по сжижению природного газа и терминал отгрузки нефти. План комплекса показан в приложении Б, а план терминала отгрузки нефти в приложении В.

Природный газ, добываемый из-под земли, содержит примеси, воду и другие попутные жидкости. Сначала газ поступает на входной узел учета и обработки (рисунок 1).

Природный газ проходит по трем параллельным дозирующим трассам и далее в сепаратор сырьевого газа, где очищается газ от некоторых более крупных частиц (песок, грязь, сконденсированная вода). Дальше на станции контроля и управления расхода и давления газ распределяется по двум технологическим линиям.

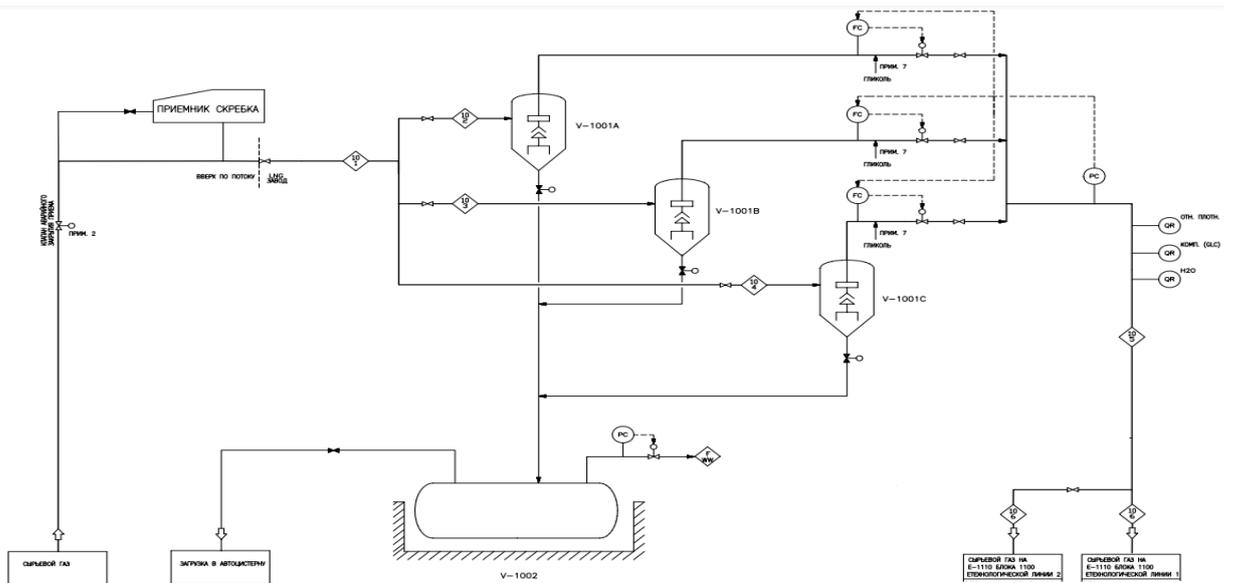


Рисунок 1 – Отделение крупных частиц

Затем в установке удаления «кислых» газов удаляются другие примеси (рисунок 2). Природный газ проходит через абсорбционную колонну, где газ подвергается контакту с нагретым химическим реагентом, который поглощает углекислый газ и сероводород. В противном случае они замерзнут при охлаждении газа и вызовут закупорку оборудования.

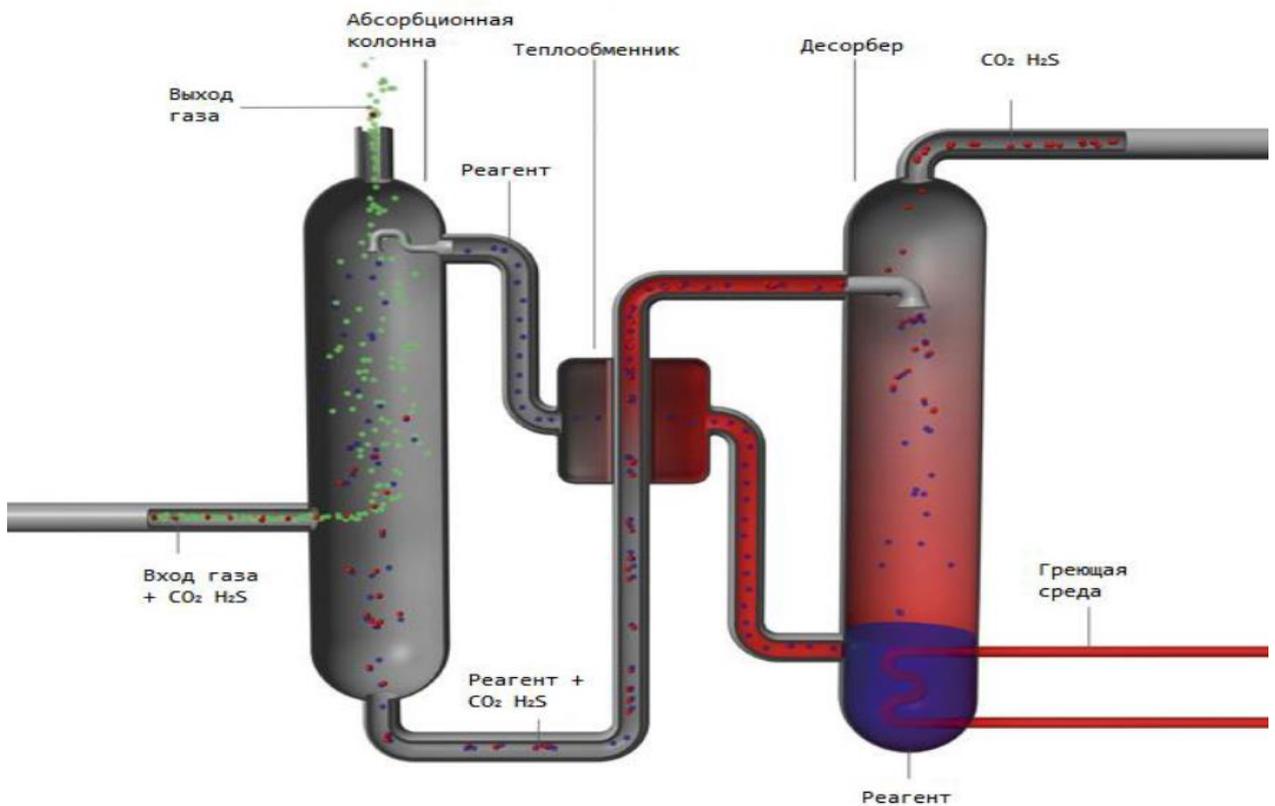


Рисунок 2 – Схема удаления «кислых» газов

Затем в установке по осушению и удалению ртутных составляющих (рисунок 3) удаляют всю оставшуюся воду, так как она тоже замерзнет. Ртуть даже в небольших количествах вызывает коррозию и хрупкость металлов алюминиевых теплообменников, которые используются в криогенных секциях завода СПГ.

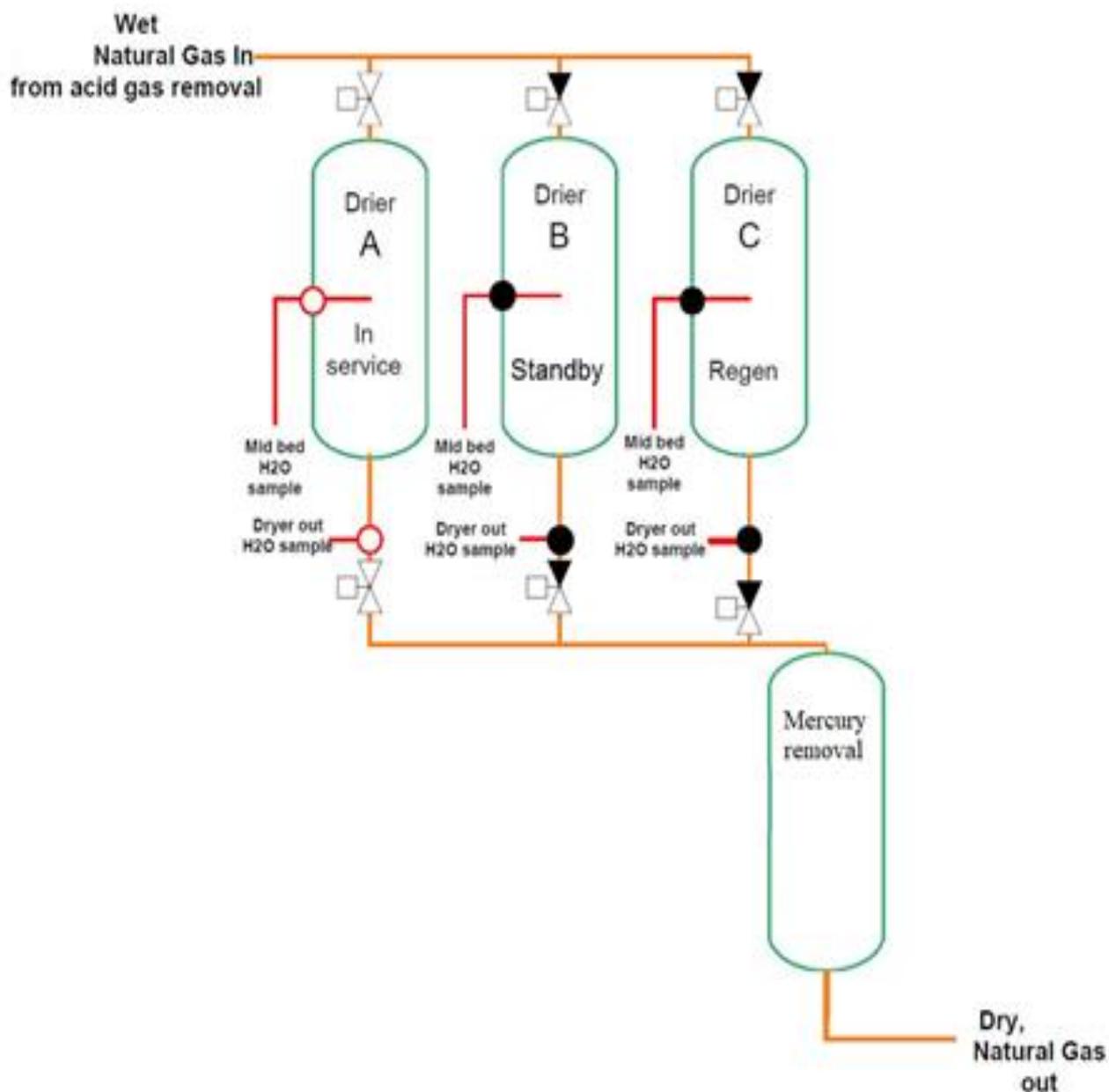


Рисунок 3 – Осушение и удаление ртути

Далее газ проходит через установку по фракционированию (рисунок 4), состоящую из дистилляционных колонн, где выделяется метан, этан, пропан, бутан и газовый конденсат. Этан и пропан извлекается для использования в качестве хладагента в процессе охлаждения.

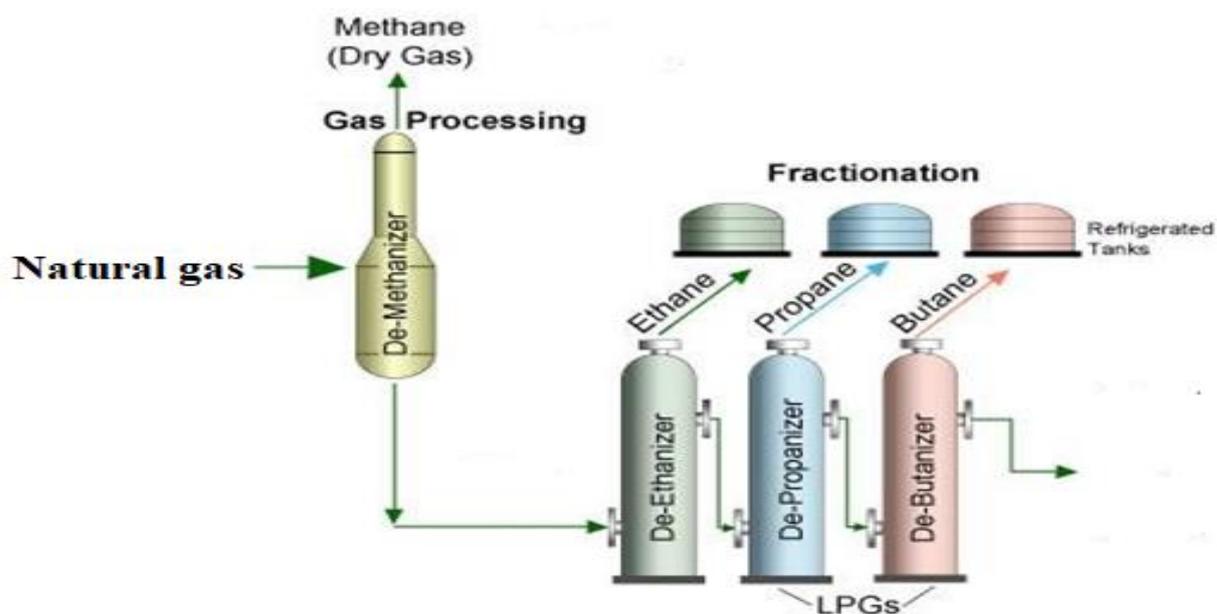


Рисунок 4 – Разделение природного газа на фракции

Теперь очищенный природный газ – самые легкие фракции (преимущественно метан) готов к сжижению. Это происходит в криогенных теплообменниках. Охлажденный хладагент во время циркуляции, с помощью компрессора, поглощает тепло от трубок, которые находятся внутри теплообменника, по которым движется природный газ. Хладагент охлаждает природный газ до минус 162 °С, уменьшая его объеме в 600 раз. Это превращает его в прозрачную, бесцветную, нетоксичную жидкость — сжиженный природный газ, который отправляют в резервуары для хранения (рисунок 5) и последующей транспортировкой на танкер-газовоз (рисунок 6).



Рисунок 5 – Резервуар для хранения СПГ



Рисунок 6 – Танкер для транспортировки СПГ

2.2 Описание технологического процесса резервуарного парка

Система хранения и выгрузки СПГ связывает непрерывный процесс сжижения газа с дискретным процессом выгрузки СПГ. На территории располагается морской причал выгрузки СПГ.

СПГ, производимый на двух технологических линиях, непрерывно перекачивается насосами в два резервуара для хранения СПГ. Для сбора СПГ с обеих технологических линий в системе предусмотрена одинарная линия откачки СПГ. Исполнительные механизмы, предусмотренные на входе каждого резервуара, обеспечивают достаточное обратное давление на коллекторе откачки, исключаящее испарение СПГ и формирование двухфазного потока.

2.2.1 Режим ожидания

В режиме ожидания омывающий поток откачиваемого СПГ из технологических линий циркулирует через отгрузочные линии для выдержки

их в холодном состоянии и для предотвращения аккумуляции паровоздушной смеси в линиях. Омывающий поток вновь возвращается в линии откачки и поступает в резервуары. Клапан с электроприводом (MOV-005) частично перекрывается для нагнетания омывающего потока под давлением в одну загрузочную линию и возврата по другой (рисунок 7).

Теплота, которая образуется в линиях и резервуарах, попадающая через изоляционный материал, приводит к испарению некоторых объемов жидкости. Эти пары получили название – отпарной газ (BOG). Во время ожидания BOG направляется в компрессоры газа мгновенного испарения, предусмотренные в каждой технологической линии. В этих компрессорах отпарной газ сжимается и направляется в систему топливного газа. Компрессор отпарного газа (КОГ) в режиме ожидания не функционирует.

На рисунке 7 представлена схема режима ожидания.

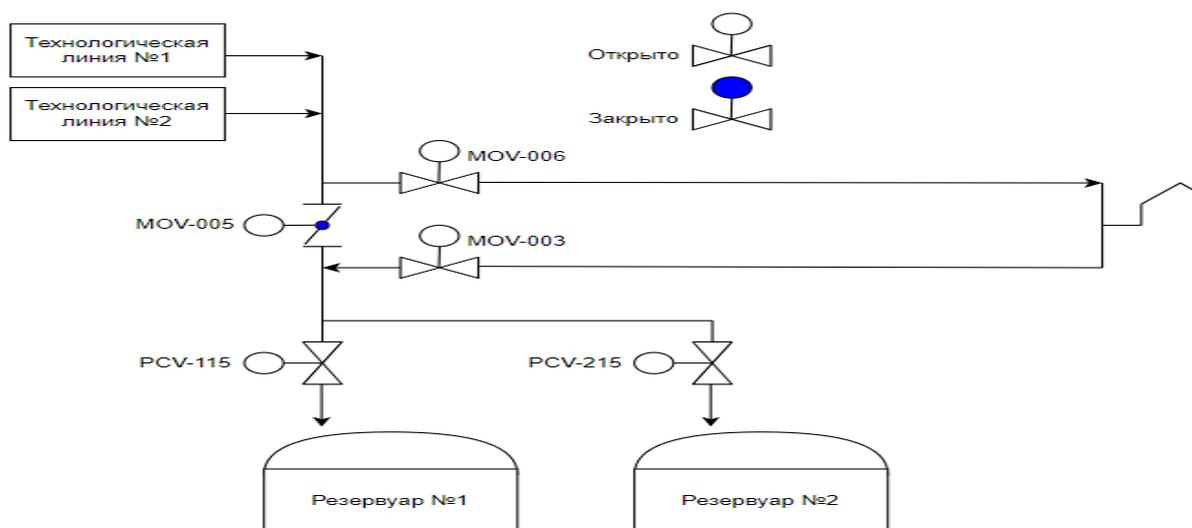


Рисунок 7 – Режим ожидания

2.2.2 Режим выгрузки

В режиме выгрузки омывающий поток СПГ, обеспечивающий охлаждающую циркуляцию через линии выгрузки, перекрывается. При этом продукт СПГ продолжает в непрерывном режиме откачиваться из технологических линий с подачей в оба резервуара.

Перекачка осуществляется криогенными насосами вертикального погружного типа, смонтированными в донной части насосной колонны. Сжиженный газ перекачивается по обоим загрузочным трубопроводам к загрузочным рукавам в головной части причала, где наливные рукава подсоединены к судовому коллектору для распределенной подачи сжиженного газа к различным загрузочным отсекам судна.

Паровоздушная смесь, вытесняемая и образующаяся из жидкости в ходе загрузки судна, возвращается по линии извлечения на судне в КОГ. КОГ вместе с двумя компрессорами мгновенного испарения направляет отпарной газ в систему топливного газа.

На начальной стадии загрузки паровоздушная смесь на судне является очень теплой, что вызывает срабатывание системы блокировки по превышенной температуре на стороне нагнетания. Поэтому во всасывающий барабан резервуара компрессора отпарного газа впрыскивается некоторый объем холодного СПГ. Это делается для охлаждения паровоздушной смеси, возвращающейся с судна. Далее в ходе выгрузочных операций такое охлаждение более не требуется, и данная система перекрывается.

В ходе перекачки СПГ давление в резервуарах имеет тенденцию к падению по мере откачки из них жидкого продукта. Для предотвращения образования вакуума в резервуаре в него подается отпарной газ.

На рисунке 8 представлена схема режима выгрузки.

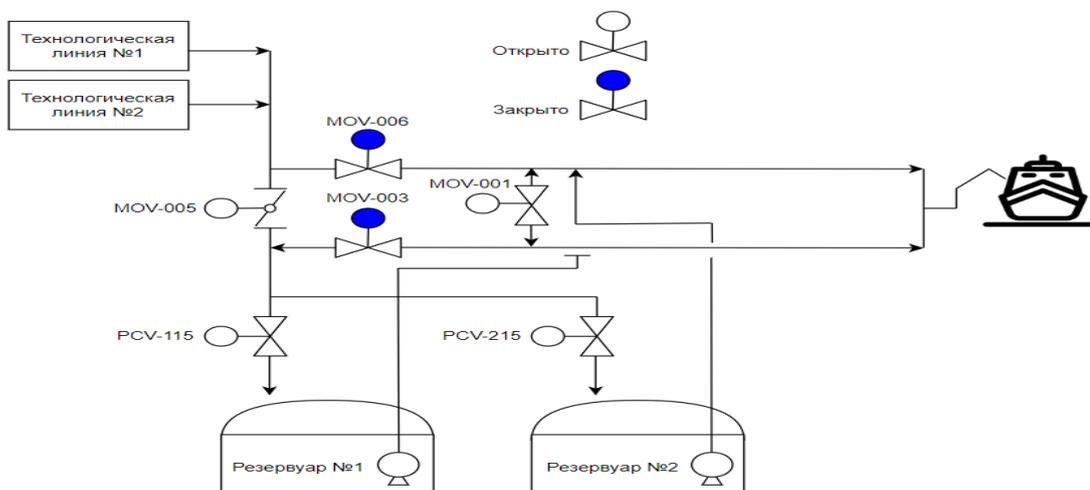


Рисунок 8 – Режим выгрузки

2.2 Выбор архитектуры автоматизированной системы

Выбор архитектуры может существенно повлиять на качество производственного процесса. Масштаб и сложность типичного завода повышает важность архитектуры.

Технологические процессы, протекающие на производственном комплексе, изначально были автоматизированы с помощью распределительной системы управления Yokogawa CENTUM VP. Конфигурация PCY (распределительная система управления) показана на рисунке 9.

PCY Centum VP имеет архитектуру, состоящую из человеко-машинных интерфейсов, полевой станции управления (FCS), станции управления безопасностью (ProSafe-PLC) и сети управления. Система поддерживает не только непрерывный контроль процессов, но и управление производственными операциями.

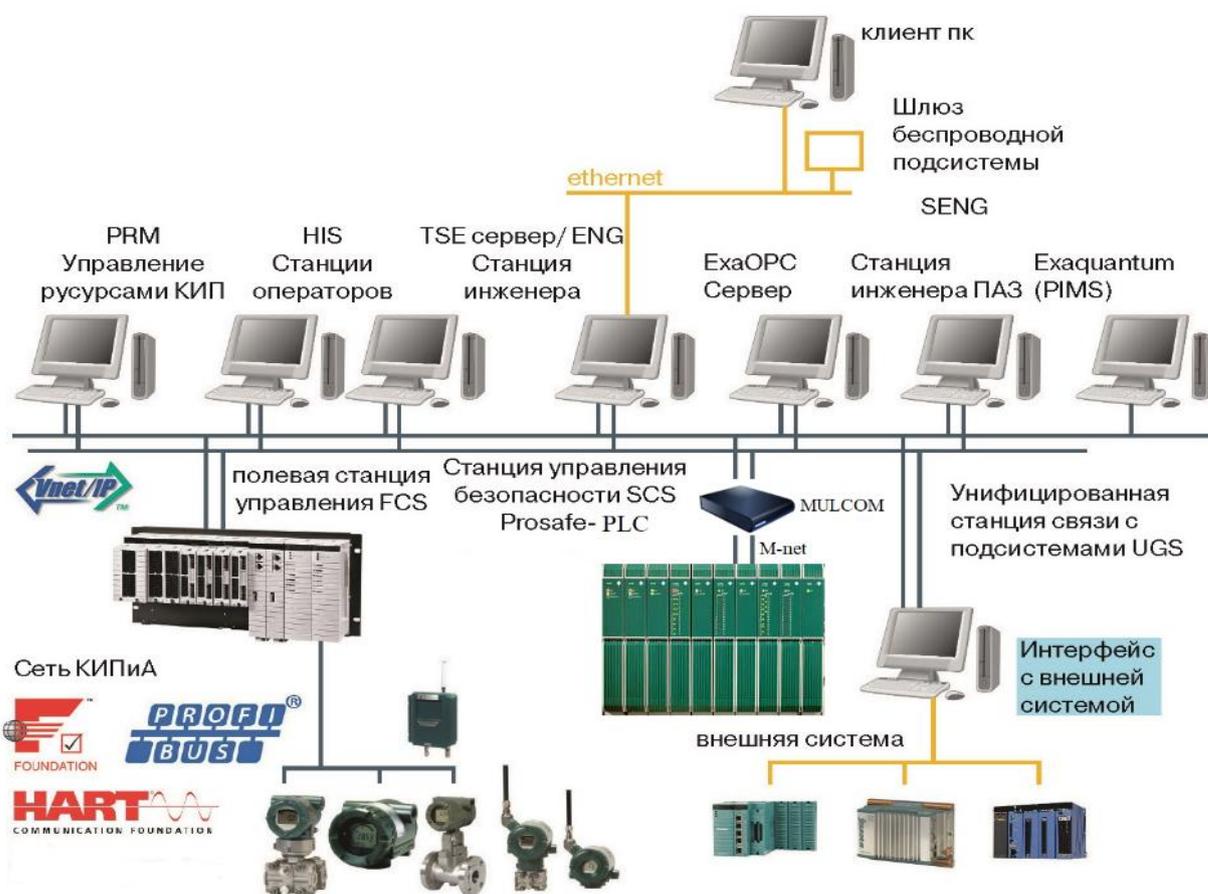


Рисунок 9 – Конфигурация PCY Centum VP

Система ProSafe используется для автоматического управления и противоаварийной защиты предприятия. В модуле ЦПУ (блок управления безопасностью) и модулях входа и выхода реализована система самодиагностики.

Система управления технологическим процессом CENTUM VP способна управлять крупномасштабным заводом. Данная система дает пользователям следующие преимущества:

- повышение эффективности работы за счет многооконного отображения и других современных технологий;
- тесная связь с информационными системами верхнего уровня;
- дальнейшее улучшение автоматизации и управляемости.

Для работы предприятия требуются различные функциональные компоненты, такие как контроль и мониторинг производства, управление производственной информацией, управление ресурсами и эксплуатационная поддержка. Обычно эти функции выполняются множеством продуктов от разных поставщиков.

2.3 Разработка структурной схемы автоматизации

Структурная схема резервуарного парка хранения углеводородов построена согласно трехуровневой иерархической структуре. Трехуровневая схема резервуарного парка приведена в приложении Г.

2.3.1 Полевой уровень

Согласно исходным данным, потребуются следующие КИПиА:

- уровнемер;
- датчики давления;
- датчики температуры;
- расходомеры;

- задвижки;
- предохранительный клапан;
- вакуумный предохранительный клапан.

2.3.2 Контроллерный уровень

Согласно исходным данным, потребуется следующее оборудование:

- полевая станция управления;
- станция управления безопасностью (не ниже SIL3).

2.3.3 Диспетчерский уровень

На уровне производственного контроля потребуется:

- АРМ оператора;
- инженерная станция с терминалом удаленного управления;
- станция управления ресурсами КИПиА;
- станция управления ПАЗ;
- сервер базы данных.

2.3.4 Размещение оборудования

Входная информация и управляющие сигналы поступают во вспомогательное полевое помещение, где установлены контроллеры РСУ и ПАЗ в специальных шкафах. Вспомогательное полевое помещение находится недалеко от резервуарного парка хранения. Схема шкафов показана на рисунке 10.

Управляющая сеть V-net/IP является сетевой системой предприятия в режиме реального времени для автоматизации процессов на основе системы связи Ethernet, имеющей скорость 1 Гб/с, с резервированной конфигурацией шины, которая обеспечивает надежную и безопасную связь.

Данная система используется в качестве базовой сети для распределительной системы управления CENTUM.

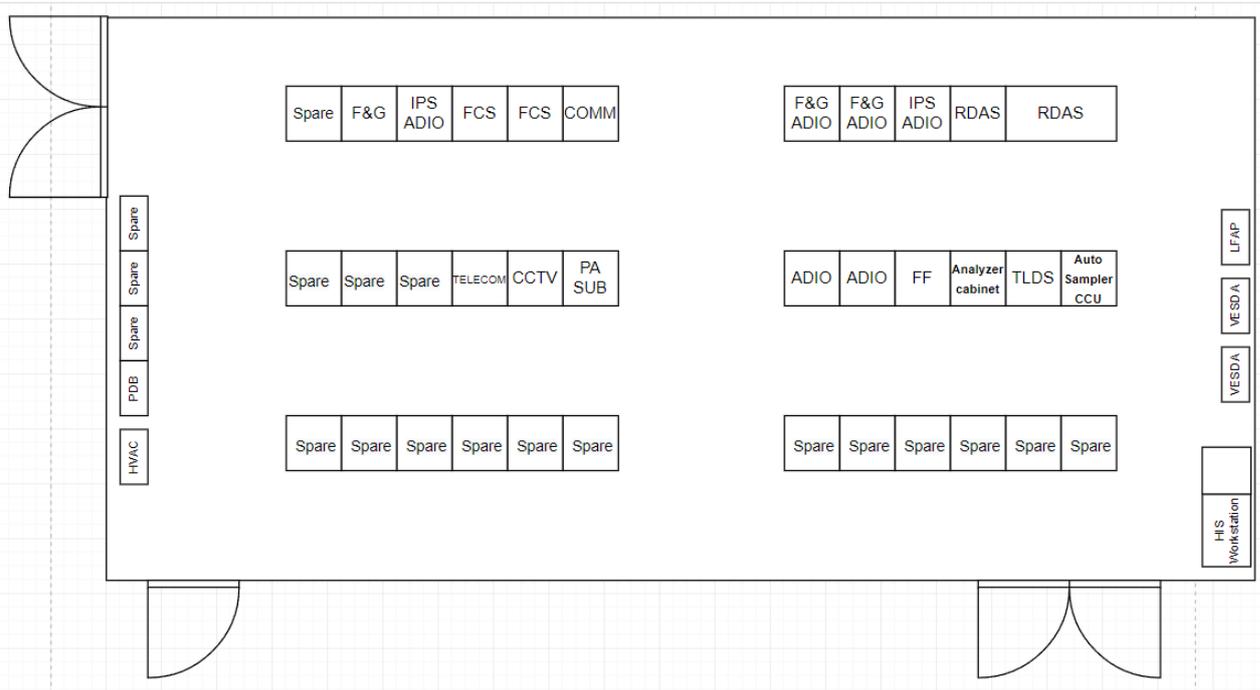


Рисунок 10 – Вспомогательное полевое помещение

2.4 Разработка функциональной схемы автоматизации

Схемы автоматизации являются ключевым технологическим документом, устанавливающим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации.

При разработке схема автоматизации необходимо решить следующие задачи:

- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- непосредственное влияние на процесс и управление им;
- стабилизация параметров технологического процесса;
- контроль и регистрация технологических параметров и состояния технологического оборудования.

Функциональные задачи автоматизации, как правило, реализуются с помощью технических средств. Функциональная схема автоматизации приведена в приложении Д.

2.5 Разработка схемы информационных потоков резервуарного парка

Схема информационных потоков, которая включает данные, передаваемые от контрольно-измерительных приборов в локальную сеть V-net/IP, представлена в приложении Е.

Ниже представим параметры, передаваемые в локальную сеть:

- давление во внутреннем резервуаре, кПа;
- перепад давления между внутренним и внешним резервуаром, кПа;
- уровень продукта в резервуаре, мм, %;
- расход продукта, м³/ч;
- температура во внутреннем/внешнем резервуаре, °С.
- регулирование давления во внутреннем резервуаре, кПа;
- регулирование расхода на выходе отгрузочного насоса и рециркуляции минимального потока, м³/ч;
- клапан регулировки/отсечки.

Ко всем элементам управления и контроля применяется определённый идентификатор, включающий символьную строку:

AAAAAA_BBVVV_CCCCC_DDDD_EEEEE_FFF

где:

AAAAAA – параметр, состоящий из 6 символов, который имеет следующие значения:

- INN – внутренний;
- LMS – концевой выключатель;
- OUT – внешний;

- TR1/2 – технологическая линия 1/2;
- TNK – резервуар;
- PUMP – насос;
- TEMP – температура;
- FLOW – расход;
- PRES – давление;
- UZ – отсечка.

BBBBB – параметр, состоящий из 5 символов, который имеет следующие значения:

- TNK – резервуар;
- PROD – продукт;
- LVL – уровень;
- DISCH – нагнетание;
- MIN – минимальный;
- MOTOR – двигатель;
- START – включить;
- STOP – выключить;
- OUT – внешний;
- INN – внутренний;
- CONT – регулировка.

CCCCC – параметр, состоящий из 5 символов, который имеет следующие значения:

- PRES – давление;
- TO – в;
- TNK – резервуар;
- LL – предельно низкий;
- LVL – уровень;
- HH – предельно высокий;
- FLOW – поток;

- POWER – мощность;
- DP – перепад давления;
- BTM – нижняя часть;
- VLV – клапан;
- HPFG – топливный газ высокого давления.

DDDD – параметр, состоящий из 4 символов, который имеет следующие значения:

- CONT – регулировка;
- TNK – резервуар;
- HH – предельно высокий;
- LL – предельно низкий;
- DP – перепад давления;
- PRI – первичный;
- SEC – вторичный;
- L – низкий;
- MIN – минимальный;
- PUMP – насос;
- HPFG – топливный газ высокого давления;
- PROD – продукт;
- TO – в.

EEEE – параметр, состоящий из 5 символов, который имеет следующие значения:

- LH – низкий/высокий;
- CONT – регулировка;
- FLOW – поток;
- DISCH – нагнетание;
- PRI – первичный;
- SEC – вторичный;
- TO – в;

- TNK – резервуар.

FFF – параметр, состоящий из 3 символов, который имеет следующие значения:

- PRI – первичный;
- SEC – вторичный;
- TNK – резервуар.

Для разделения частей идентификатора используется знак «_».

В таблице 2 представлены идентификаторы сигналов в системе SCADA.

Перечисление входных/выходных сигналов представлено в приложении Е.

Таблица 2 – Идентификаторы сигналов в системе SCADA

Идентификатор сигнала	Декодировка
INN_TNK_PRES_CONT_LH_PRI	Первичное регулирование низкого/высокого давления внутреннего резервуара.
INN_TNK_PRES_CONT_LH_SEC	Вторичное регулирование низкого/высокого давления внутреннего резервуара.
TR1/2_PROD_TO_TNK_CONT	Регулирование давления продукта в резервуар из технологической линии 1/2.
INN_TNK_PRES_LL	Предельно низкое давление во внутреннем резервуаре
INN_TNK_PRES_HH	Предельно высокое давление во внутреннем резервуаре
INN/OUT_TNK_DP	Перепад давления между внутренним и внешним резервуаром.
TNK_LVL_LL_HH	Предельно низкий/высокий уровень в резервуаре.
TNK_PROD_LVL_PRI	Первичный уровень продукта в резервуаре.
TNK_LVL_HH_PRI	Первичный предельно высокий уровень в резервуаре.
TNK_PROD_LVL_SEC	Вторичный уровень продукта в резервуаре.
TNK_LVL_HH_SEC	Вторичный предельно высокий уровень в резервуаре.
TNK_LVL	Уровень в резервуаре.
PUMP_DISCH	Нагнетание отгрузочного насоса.
PUMP_MIN_FLOW_L	Низкая рециркуляции минимального потока отгрузочного насоса.
PUMP_MOTOR_POWER	Мощность двигателя отгрузочного насоса.
PUMP_START/STOP	Отгрузочный насос включить/отключить.
TEMP_OUT_TNK	Температура во внешнем резервуаре.

Продолжение таблицы 2 – Идентификаторы сигналов в системе SCADA

Идентификатор сигнала	Декодировка
TEMP_INN_TNK_BTМ	Температура в нижней части внутреннего резервуара.
FLOW_CONT_VLV_MIN_FLOW	Клапан регулировки расхода рециркуляции минимального потока.
FLOW_CONT_VLV_PUMP_DISCH	Клапан регулировки расхода на выходе отгрузочного насоса.
PRES_CONT_VLV_HPFГ_PRI	Первичный клапан регулировки давления топливного газа ВД.
PRES_CONT_VLV_HPFГ_SEC	Вторичный клапан регулировки давления топливного газа ВД.
PRES_CONT_VLV_PROD_TO_TNK	Клапан регулировки давления СПГ в резервуар.
UZ_VLV_LNG_TO_TNK	Клапан отсечки подачи СПГ в резервуар.
UZ_VLV_HPFГ_TO_TNK	Клапан отсечки подачи топливного газа ВД в резервуар.

2.6 Комплекс аппаратно-технических средств

Поскольку модернизация затронула систему противоаварийной безопасности на среднем уровне АСУТП, то в данном разделе будут кратко описаны применяемые в резервуарном парке средства автоматизации.

2.6.1 Уровнемер

В соответствии со схемой автоматизации (приложение Д), необходимо иметь четыре прибора измерения уровня.

В качестве уровнемеров, которые служат для мониторинга уровня СПГ, сигнализации тревоги и блокировки, если уровень достигает критических значений, используется сервоуровнемер производителя Honeywell ENRAF 854 ATG (Рисунок 11). Основные технические характеристики представлены в приложении Ж.



Рисунок 11 – Уровнемер Honeywell ENRAF 854 ATG

Данный уровнемер имеет четыре программируемых уровня сигнализации, а также предоставляет диагностическую информацию. Эта информация может отображаться на внутреннем дисплее портативного терминала ENRAF, а также на удаленных системах.

Данная модель уровнемера может поставляться с дополнительной платой (называемой платой HCU) для сопряжения дополнительного оборудования, например:

- температурный элемент (платиновый термометр сопротивления Pt100);
- датчик давления (для измерения давления пара, измерения плотности);
- аналоговый выход уровня – (4 – 20) мА.

Принцип работы (рисунок 12) основан на обнаружении изменений плавучести поплавка, который частично погружен в измеряемую среду (жидкость). Поплавок подвешен на прочную гибкую измерительную

проволоку, которая намотана на измерительный барабан с точными канавками. Вал барабана объединен с шаговым двигателем через магнитную муфту. Кажущийся вес поплавка измеряется датчиком силы. Результирующая разница между измеренным и желаемым значением вызовет изменение положения шагового двигателя и, как следствие, поднятие или опускание поплавка до тех пор, пока измеренное значение станет равно желаемому значению.

Шаговый двигатель делает один оборот каждые 10 мм вертикального перемещения поплавка. Один оборот делится на 200 шагов, поэтому один шаг эквивалентен 0,05 мм. Характеристики уровнемера представлены в таблице 3.



Рисунок 11 – Принцип работы уровнемера

2.6.2 Преобразователи давления

Для функционирования автоматизированной системы должно быть шесть преобразователей избыточного давления (для измерения давления на входе в резервуар, а также измерение давления внутри резервуара, сигнализации тревоги и блокировки) и преобразователь дифференциального давления (для измерения расхода на линии выгрузки и перепада давления между внутренним и внешним резервуаром), согласно схеме автоматизации (Приложение Д).

В качестве преобразователей избыточного давления используются Yokogawa EJA430A (рисунок 12).



Рисунок 12 – Преобразователь избыточного давления Yokogawa EJA430A

Преобразователь давления с высокими характеристиками может использоваться для измерения жидкости, газа или давления пара. Он выдает сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА, соответствующее измеренному давлению. Модель имеет возможность удаленной настройки и мониторинга через протокол HART. Модель поддерживает протокол связи HART и Foundation Fieldbus. Основные технические характеристики представлены в приложении 3.

В качестве преобразователя дифференциального давления используется Yokogawa EJA110A (рисунок 13). Стабильность работы $\pm 0,1\%$ на протяжении 5 лет. Модель поддерживает протокол связи HART и Foundation Fieldbus. Основные технические характеристики представлены в приложении И.



Рисунок 13 – Преобразователь дифференциального давления Yokogawa EJA110A

2.6.3 Манометры

В соответствии со схемой автоматизации (приложение Д), установлено четыре прибора измерения давления – манометры, для того чтобы эксплуатационный персонал мог визуально контролировать параметры. Используются мембранные манометры компании WIKA (рисунок 14).



Рисунок 14 – Мембранный манометр модели 433.50

2.6.4 Температурные элементы

Для функционирования автоматизированной системы должно быть три температурных элемента, согласно схеме автоматизации (Приложение Д).

В качестве чувствительного элемента используется платиновый термометр сопротивления Pt100 от производителя Thermo Electra SA 2003, установленный в термокарман (рисунок 15).



Рисунок 15 – Термометр сопротивления Thermo-Electra типа Pt100

2.6.4 Преобразователи температуры

Для функционирования автоматизированной системы должно быть три температурных преобразователя, согласно схеме автоматизации (Приложение Д).

В качестве преобразователей температуры используются преобразователи производителя Yokogawa YTA-320 (рисунок 16). Это высокоточный преобразователь температуры, который принимает входные сигналы термопар, термометров сопротивления (сопротивление, милливольты постоянного напряжения) и преобразует их в сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА для передачи. Модель поддерживает протокол связи HART и Foundation Fieldbus. Погрешность составляет $\pm 0,02\%$. Основные технические характеристики представлены в приложении К.

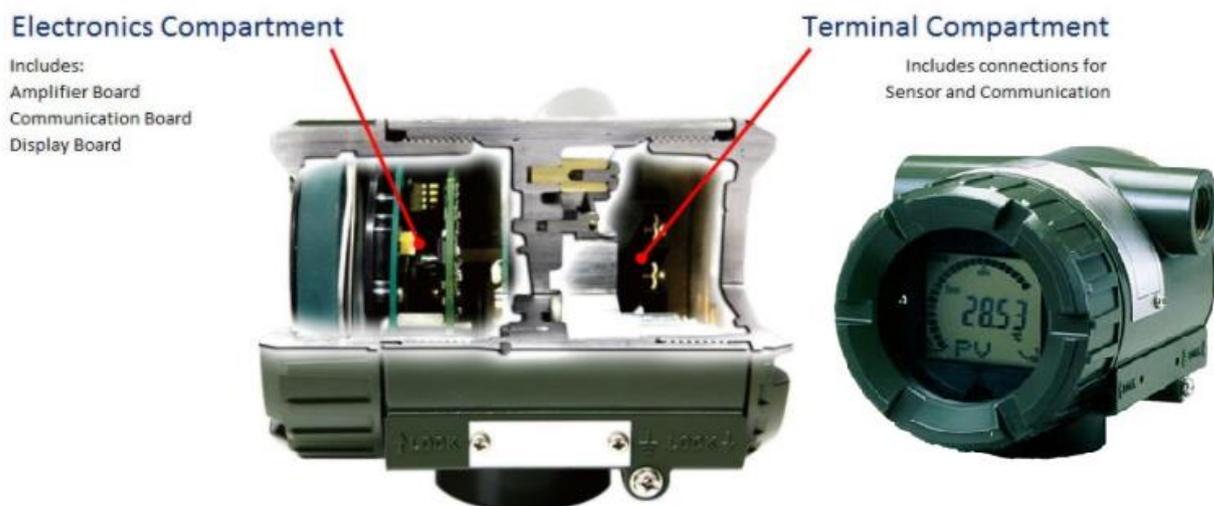


Рисунок 16 – Преобразователь температуры Yokogawa YTA-320

2.6.6 Исполнительные элементы

Исполнительные элементы управления – это корректирующие элементы, которые получают сигнал от контроллера и вносят изменения в процесс, чтобы настроить переменную процесса на желаемый параметр. В любом контуре управления очень важна скорость, с которой исполнительный элемент управления реагирует на корректировку переменной, выходящей за пределы заданного значения. Многие технологические совершенствования связаны с уменьшением времени отклика.

Привод – это наиболее важная часть исполнительного элемента управления, устройство, которое вызывает физические изменения в исполнительном механизме управления. Для привода клапана – это привод штока клапана. Привод может управляться пневматически, гидравлически или электрически.

Для функционирования автоматизированной системы должно быть пять регулирующих клапанов и два отсечных клапана, согласно схеме автоматизации (Приложение Д).

В качестве исполнительных механизмов для регулирования давления подачи топливного газа высокого давления в резервуар и регулирования

входящего давления в резервуар СПГ, используется клапан от производителя Fisher, модель ET-C с пневматическим приводом Fisher 657 (рисунок 17) и цифровым контроллером клапана Fisher FIELDBUE DVC6200.

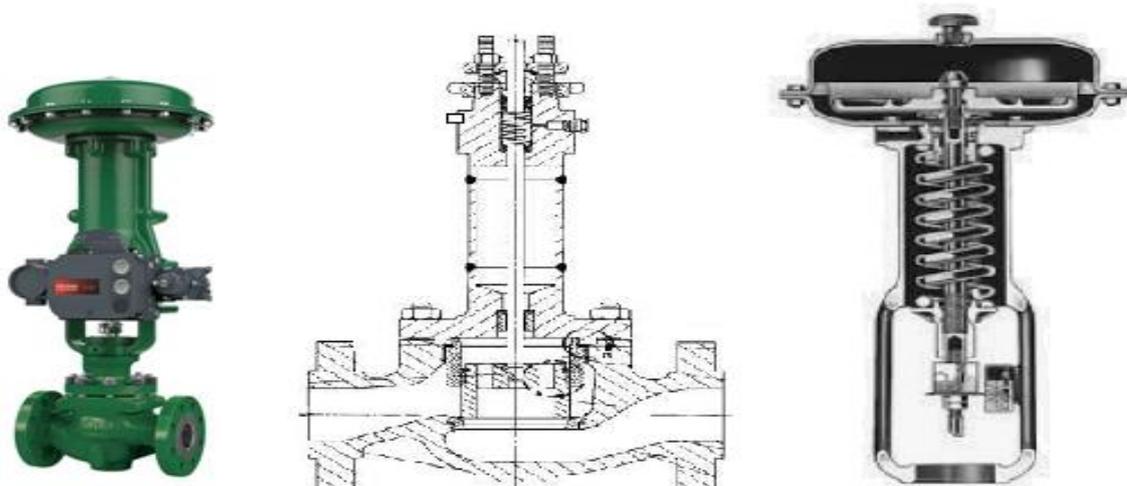


Рисунок 17 – исполнительный клапан Fisher ET-C с приводом Fisher 657 и цифровым контроллером клапана FIELDVUE DVC6200

Для регулировочной характеристики выбрана линейная пропускная характеристика клапана. При регулировании давления входящего СПГ, клапан удерживает давление до себя 80 кПа. Технические характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики клапана Fisher ET-C

Техническая характеристика	Значение
Пропускная характеристика	Линейная
Класс герметичности	Класс V
Направление потока	Поток вниз
Материал	316 сталь нержавеющей
Температура процесса	от минус 170 до плюс 75 °С
Температура окружающей среды	от минус 50 до плюс 50 °С

В качестве исполнительных механизмов, предназначенных для контроля потока СПГ из резервуара на причал отгрузки и рециркуляции минимального потока, используется шаровый клапан производителя Fisher EWT-C с

пневматическим приводом Fisher 585C и цифровым контроллером клапана FIELDVUE DVC6200.

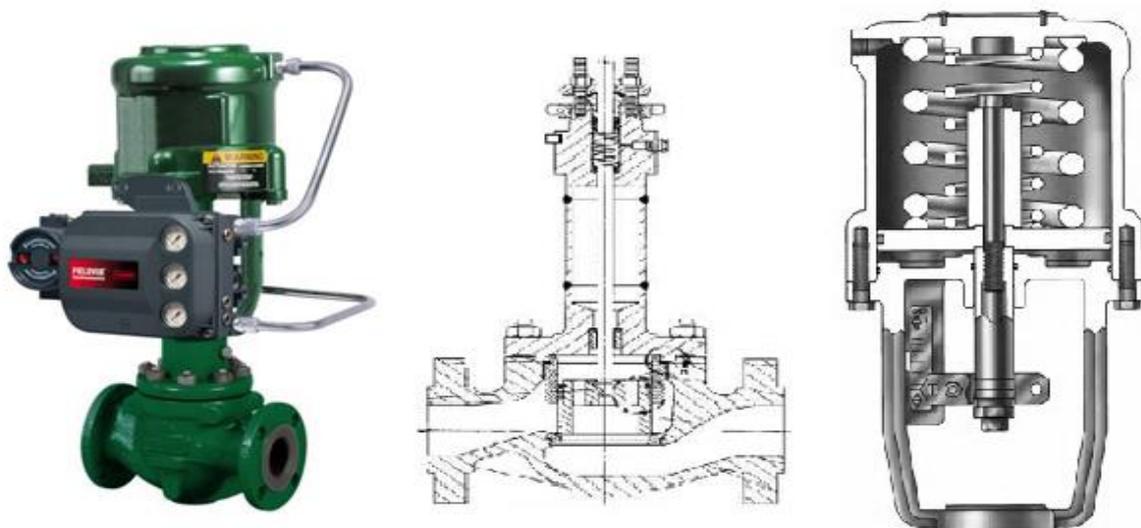


Рисунок 18 – контрольный клапан Fisher EWT-C с приводом Fisher 585C и цифровым контроллером клапана FIELDVUE DVC6200

Для регулировочной характеристики выбрана линейная пропускная характеристика клапана. Технические характеристики представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики клапана Fisher EWT-C

Техническая характеристика	Значение
Пропускная характеристика	Линейная
Класс герметичности	Класс IV
Направление потока	Поток в низ
Материал	316 сталь нержавеющей
Температура процесса	от минус 165 до плюс 75 °С
Температура окружающей среды	от минус 50 до плюс 50 °С

Для точного позиционирования исполнительного механизма используется цифровой контроллер клапана Fisher FIELDVUE DVC6200 (рисунок 19).



Рисунок 19 – Цифровой контроллер клапана FIELDVUE DVC6200

Принцип работы данного контроллера, следующий: Входящий сигнал поступает из контроллера в цифровой контроллер клапана, который по магнитной обратной связи определяет положение клапана и, исходя из этих данных, преобразует токовый сигнал в пневматический. Движение штока клапана происходит благодаря подаче воздуха от цифрового контроллера клапана в диафрагму.

В качестве исполнительных механизмов для отсечки подачи СПГ и топливного газа высокого давления в резервуар используется шаровой клапан производителя PIBIVIESSE модели E3 (рисунок 20) с пневматическим приводом производителя BIFFI модели ALGAS с пружинным возвратом (рисунок 21).

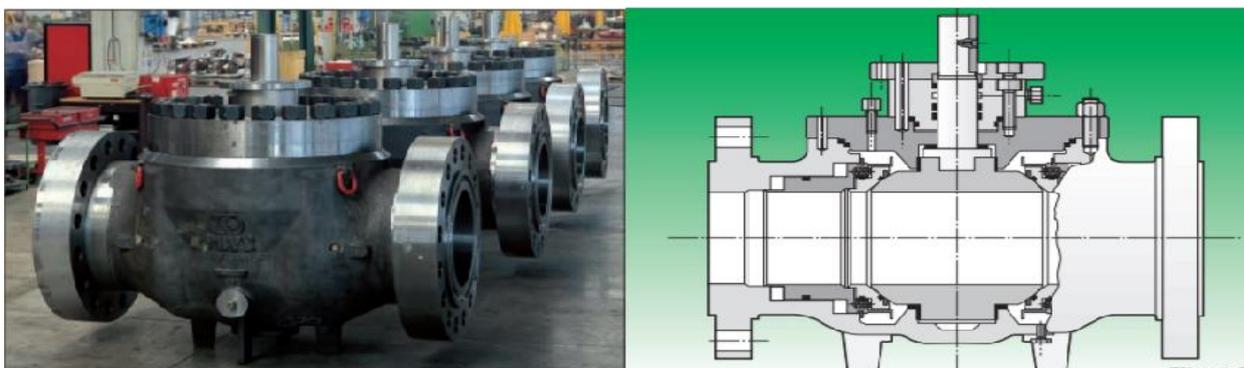


Рисунок 20 – Шаровой клапан PIBIVIESSE модели E3

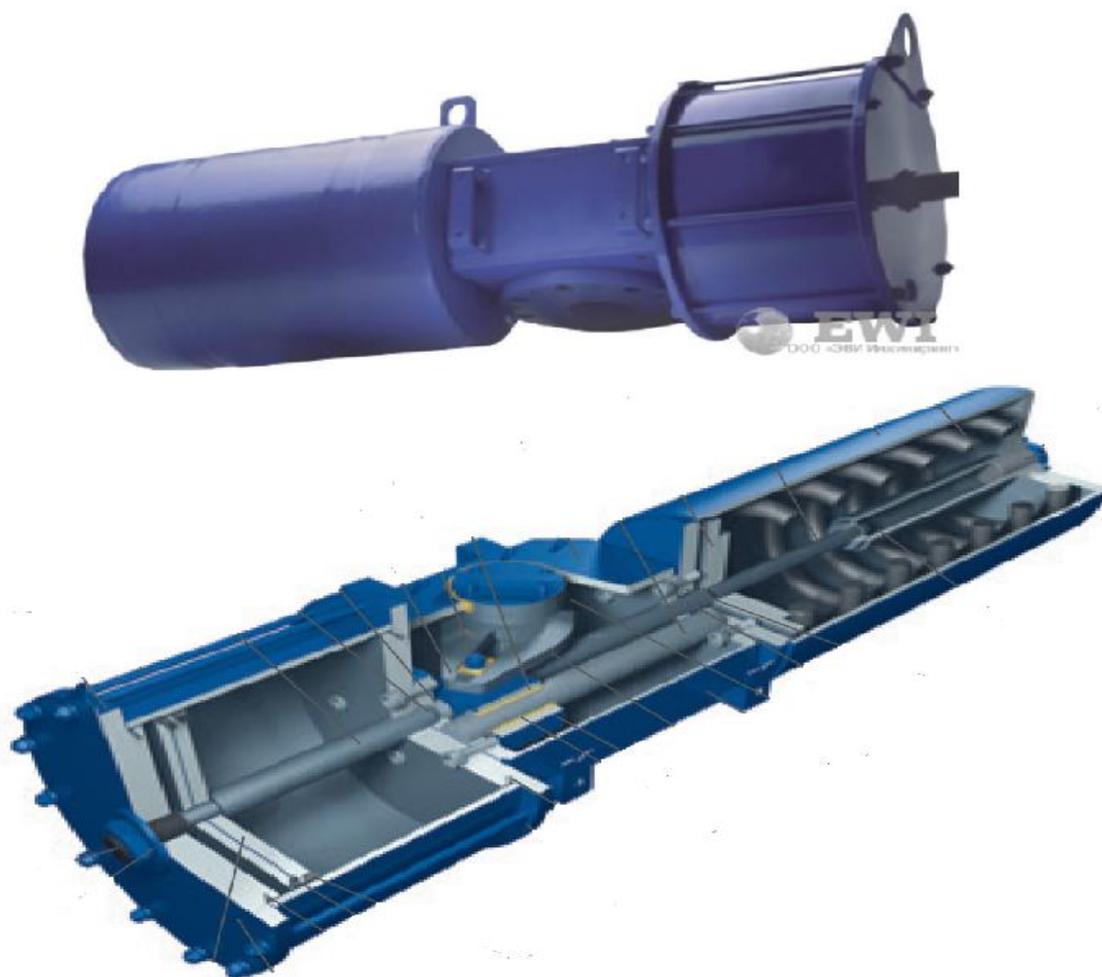


Рисунок 21 – Привод BIFFI ALGAS с пружинным возвратом
 Технические характеристики представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики клапана PIBIVIESSE E3

Техническая характеристика	Значение
Пропускная характеристика	Полностью закрыт/открыт
Класс герметичности	Класс VI
Материал	A182-F316 сталь нержавеющей
Тип клапана	Шаровой
Температура процесса	от минус 170 до плюс 75 °С
Температура окружающей среды	от минус 50 до плюс 50 °С

2.6.7 Программируемый логический контроллер управления

Технологический процесс на технологическом комплексе контролируется с помощью PCY Centum VP. Для поддержания функции

управления в системе РСУ используется полевая станция управления (FCS), установленная во вспомогательном полевом помещении (рисунок 22).

FCS осуществляет вычисления, непрерывное\последовательное управление в пакетном или непрерывном режиме. Контроллер может обрабатывать большое количество полевых данных (данных КИП) с удобными скоростями, которые полностью удовлетворяют потребностям эры цифровых КИП (контрольно-измерительных приборов).

Станция состоит из блока управления полевыми устройствами (FCU), который оснащен процессором для управляющих вычислений (используется модель AFF50D-H4120), блока связи (NU), состоящего из модулей ввода/вывода (используется модель модуля связи fieldbus ALF111-S00).

Основные технические характеристики представлены в приложении Л.

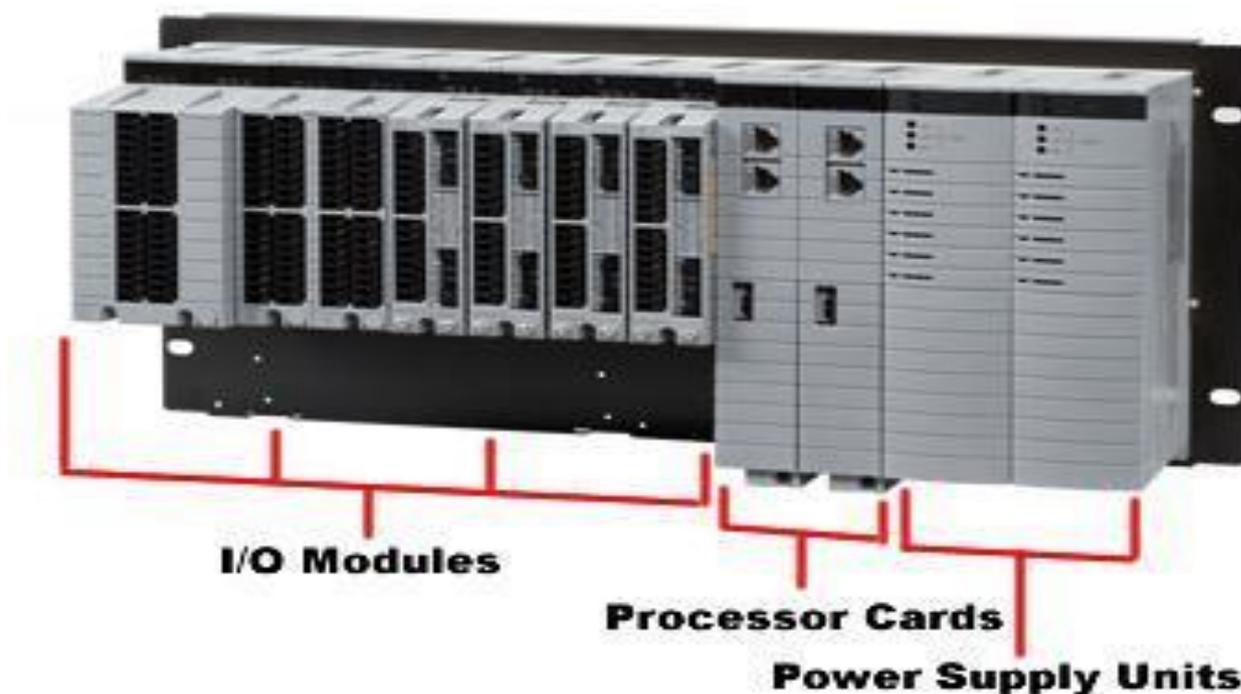


Рисунок 22 – Полевая станция управления FCS

2.6.8 Предохранительный клапан

Для защиты резервуара от повышения давления внутри резервуара и в отгрузочной линии должны быть установлены предохранительные клапаны, согласно схеме автоматизации (Приложение Д).

Для этих целей используется предохранительный клапан производителя Anderson Greenwood серии 80 (рисунок 23).

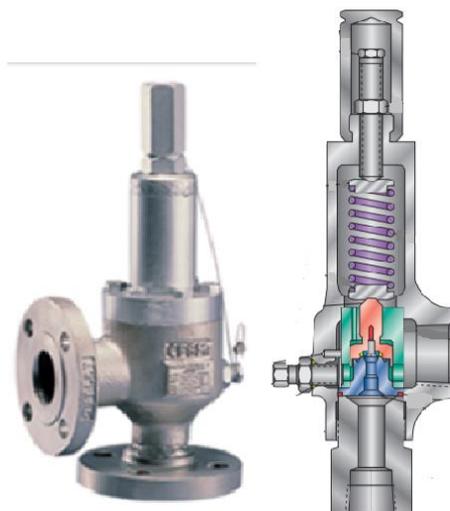


Рисунок 23 – Предохранительный клапан Anderson Greenwood серии 80

Мягкость седла данного клапана обеспечивает герметичность с точной повторяемостью до и после каждого цикла сброса давления. Легко заменяемые мягкие седла и уплотнения исключают дорогостоящую и времязатратную притирку металлических компонентов, уменьшая затраты на техобслуживание в долгосрочной перспективе. Клапан разработан специально для работы в криогенных условиях, тем самым сводится к минимуму возможность замерзания отпарного газа.

2.6.9 Вакуумный клапан давления

Для защиты резервуара от образования вакуума внутри резервуара должен быть установлен вакуумный клапан давления, согласно схеме автоматизации (Приложение Д).

Для этого используется вакуумный отсекающий клапан производителя Emerson – Anderson Greenwood серии 96А (рисунок 24), который применяется для резервуаров хранения СПГ, где требование защиты от образования вакуума является обязательным. Входной патрубок не требуется. Вакуумный отсекающий клапан является вентиляционным клапаном грузового типа,

предназначенным для впуска атмосферного воздуха. Температурный диапазон применения от минус 196 °С до плюс 149 °С. Принцип работы клапана представлен в приложении М.

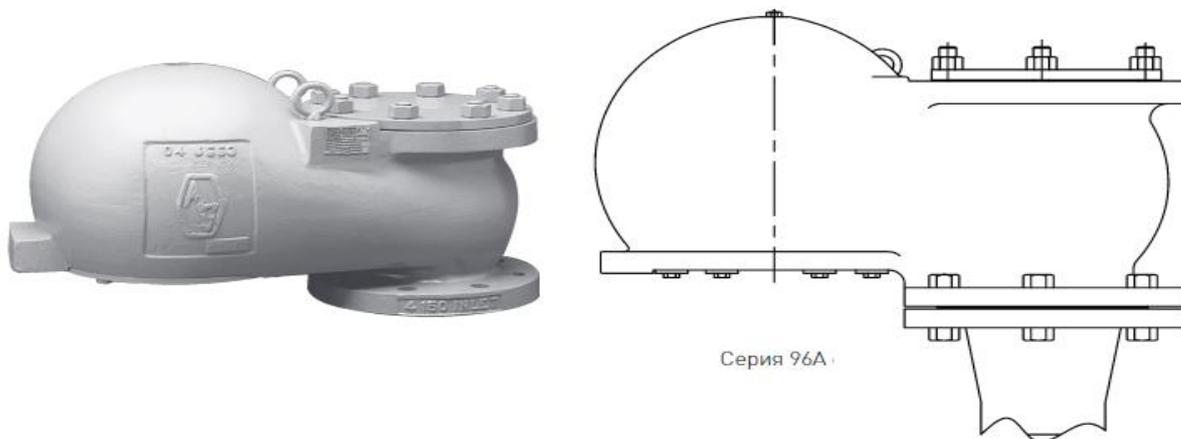


Рисунок 24 – Вакуумный отсекающий клапан Anderson Greenwood серии 96А

2.6.10 Полевой коммуникатор

Для настройки и калибровки контрольно-измерительных приборов во взрывоопасной зоне используется искробезопасный полевой коммуникатор производителя Emerson – полевой коммуникатор 475 (рисунок 25).

Коммуникатор поддерживает протоколы связи HART и Fieldbus (схема подключения показана на рисунке 26 и 27). Общее описание полевого коммуникатора представлено в приложении Н.



Рисунок 25 – Полевой коммуникатор 475

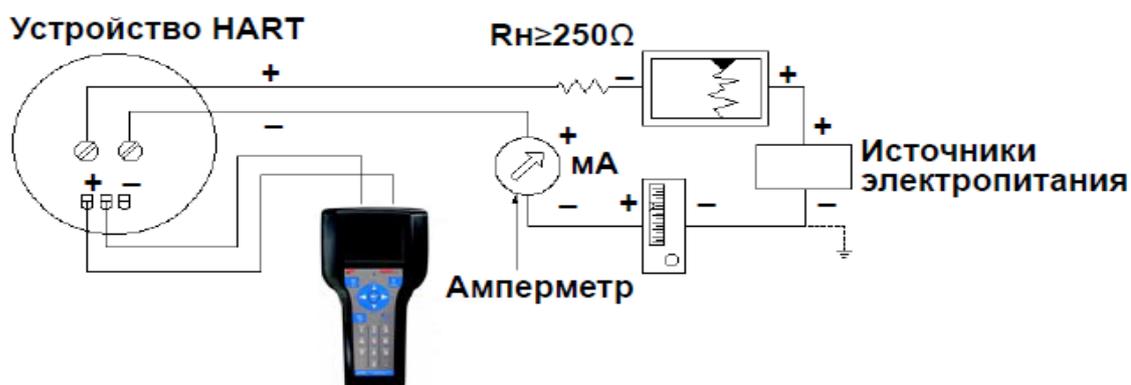


Рисунок 26 – Подключение к устройству HART

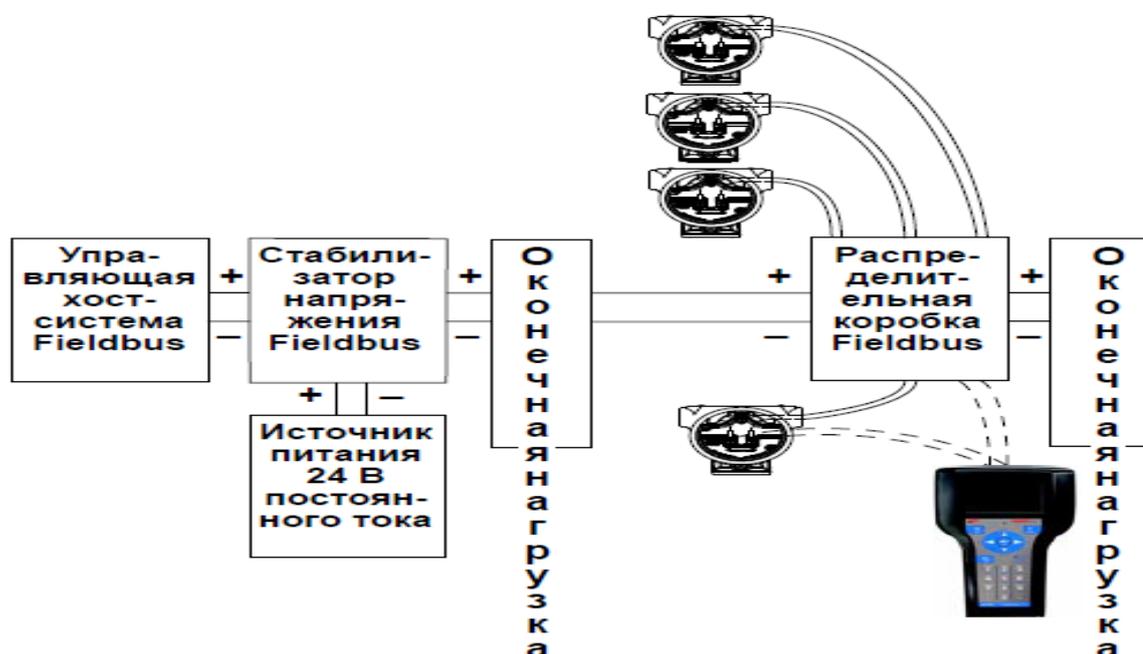


Рисунок 27 – Подключение к устройству Fieldbus

2.7 Схема внешних проводов

Схема внешних проводов для подключения Fieldbus представлена в приложении О, а схема подключения оставшихся преобразователей представлена в приложении П. Для подключения оборудования компонуются преобразователи и исполнительные механизмы, которые работают по протоколу Fieldbus и (4 – 20) мА+ (HART).

Для подключения Fieldbus используется кабель:

- BELDEN_3076F 18AWG (0,8)/ 1 pair – полевая шина, имеющая одну пару жил, изготовленная из луженной меди с полипропиленовой изоляцией, общий экран, внешнюю мягкую оболочку из ПВХ (рисунок 28а);
- Manhan_M3440 22AWG (0,32)/ 10 пар – полевая шина многожильная из луженной меди с полужесткой изоляцией из ПВХ, экран из алюминиевой фольги, сланцевая оболочка из ПВХ (рисунок 28б);

Для подключения остальных приборов потребуется кабель:

- КВВГЭнг 4х0,75 – кабель контрольный экранированный, изоляция и оболочка из ПВХ.

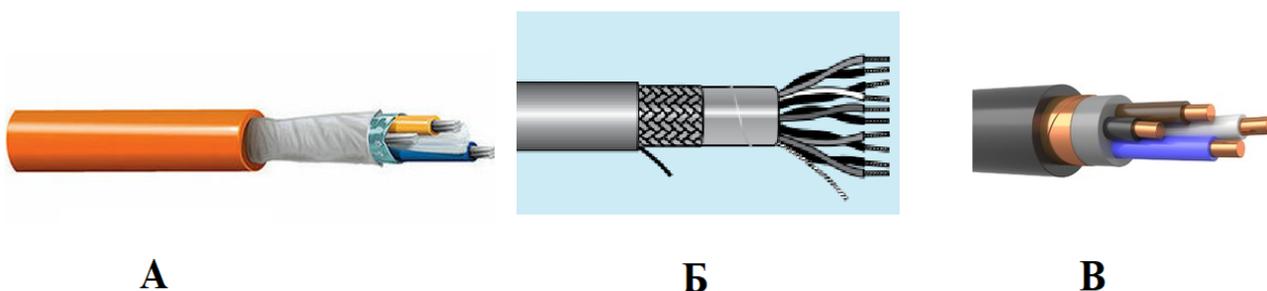


Рисунок – 28 Кабель для подключения КИПиА

а – BELDEN_3076F 18AWG (0,8)/1 пара

б – Manhan_M3440 22AWG (0,32)/10 пар

в – КВВГЭнг 4х0,75

Общая схема подключения системы управления на основе протокола Fieldbus показана на рисунке 29.

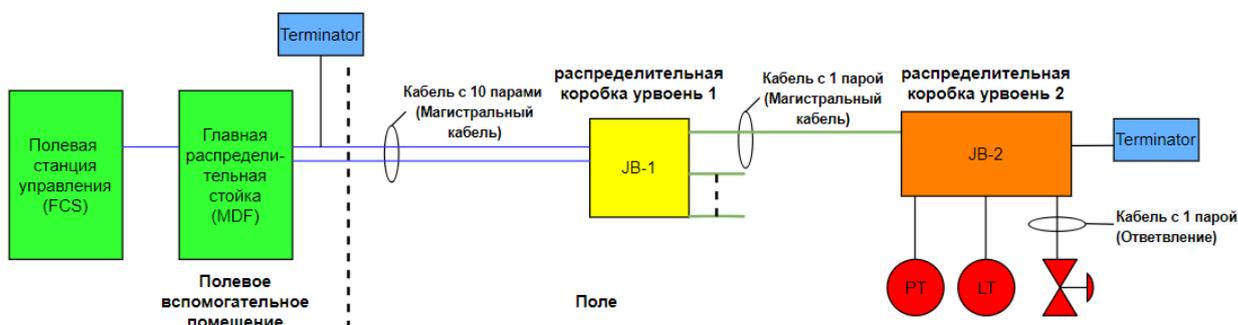


Рисунок 29 – Схема подключения Fieldbus

Полевая станция управления (FCS) соединена с главной распределительной стойкой (MDF) системным кабелем, далее от стойки проложены два магистральных кабеля (один дублирующий) с десятью парами к распределительной коробке (JB-1), где имеются две пары резервного кабеля. Далее отдельные двужильные кабели от JB-1 подключены к клеммам распределительной коробки JB-2. И, в конечном итоге, от JB-2 уже идет отдельный кабель к каждому полевому устройству.

Длина провода от JB-2 к полевому устройству должна быть минимальная, поэтому распределительная коробка второго уровня должна находиться рядом с устройствами.

Нагрузочный резистор (Terminator) устанавливается в начале и в конце линии для поддержания напряжения в шине управления. Нагрузочный резистор действует как токовый шунт для сети управления и защищает сигнал полевой шины от электрических отражений. Вид нагрузочного резистора показан на рисунке 30.



Рисунок 30 – Вид нагрузочного резистора (Terminator) для цепей Fieldbus

Кабельные экраны находятся в главной распределительной стойке и заземляются только во вспомогательном помещении. Экраны кабелей не заземляются в преобразователях по месту.

Требования к длине кабеля и его типу. Для применения в Fieldbus, согласно ISA S50.02, определены четыре типа кабелей: А, В, С и D. Кабели имеют разные физические свойства и, следовательно, влияют на величину максимально возможной длины (Таблица 6).

Таблица 6 – Типы используемых кабелей для Fieldbus

Тип кабеля	Максимальная длина кабеля (м)	Площадь поперечного сечения (AWG)	Сопротивление (Ом/км)	Описание
A	1900	0,8 мм ² (#18)	22	Витые пары с раздельным экраном

Продолжение таблицы 6 – Типы используемых кабелей для Fieldbus

Тип кабеля	Максимальная длина кабеля (м)	Площадь поперечного сечения (AWG)	Сопротивление (Ом/км)	Описание
B	1200	0,32 мм ² (#22)	56	Несколько витых пар с общим экраном
C	400	0,13 мм ² (#26)	132	Несколько витых пар без экрана
D	200	0,8 мм ² (#18)	20	Многожильный провод без объединения в пары

Максимально возможная длина кабеля секции при применении кабеля типа А равна 1900 метров. Общая длина сегмента вычисляется путем сложения длин магистрального кабеля и отводящих ветвей сегмента. Следует подметить, что упомянутая выше длина относится к секциям общего назначения и может меняться в зависимости от выбранного типа кабеля. Если требуется, чтобы сегмент имел большую длину, нужно использовать повторитель. Согласно требованиям стандарта ISA S50.02, часть 2, рекомендуемая длина ответвлений показана в таблице 7.

Таблица 7 – Рекомендуемая длина ответвлений сегмента

Общее число устройств	Рекомендуемая максимальная длина ответвления (м)
от 25 до 32	Менее 1
от 19 до 24	30
от 15 до 18	60
от 13 до 14	90
от 1 до 12	120

2.7 Описание системы противоаварийной защиты резервуарного парка хранения СПГ

Функции приборной защиты (ПАЗ) предусмотрены для подачи сигналов тревоги, переключения и аварийного переключения для предотвращения или смягчения обстоятельств, которые могут привести к опасной ситуации. Такие

ситуации могут приводить к травмам и/или существенным производственным потерям и/или повреждению оборудования и ущербу для окружающей среды.

Схема противоаварийной защиты резервуарного парка хранения СПГ представлена в приложении Р. Диаграмма причин и следствий представлена в приложении С.

Для резервуаров-хранилищ СПГ предусмотрена ПАЗ, чтобы защитить резервуары-хранилища СПГ от повреждения, вызванного повышенным или пониженным давлением и высоким уровнем (блок UZ-100).

Для насосов выгрузки СПГ предусмотрена ПАЗ для защиты насосов от повреждения, вызванного низким уровнем, повышенным или пониженным давлением в резервуарах-хранилищах СПГ (блок UZ-130).

В технических условиях для ПАЗ существует требование к выключателю обхода для технического обслуживания (MOS).

Цель блока UZ-100 состоит в защите резервуара от переполнения и предотвращения сброса давления через предохранительные клапаны и устройства для снятия вакуума.

При очень высоком давлении в резервуаре (PZA-158) блок UZ-100 выполняет следующие действия:

- закрывает отсечной клапан подачи (UZV-101) через соленоид (UZ-101), чтобы перекрыть поток СПГ в резервуар;
- перекрывает отсечной клапан подачи топливного газа высокого давления (UZV-103) через соленоид (UZ-103), чтобы прекратить подачу газа в резервуар;
- открывает поток отпарного газа (BOG) с помощью клапана MOV-102, чтобы сбросить находящийся под давлением BOG (UZ-108);
- переводит HS-1050 в открытое положение для возможности ручного открывания MOV-102 оператором с панели управления.

При аварийно низком давлении в резервуаре (PZA-157) блок UZ-100 выполняет следующие действия:

- открывает отсечной клапан подачи (UZV-101) через соленоид (UZ-101) для подачи СПГ в резервуар;
- открывает отсечной клапан подачи топливного газа высокого давления (UZV-103) через соленоид (UZ-103) с целью ввода газа в резервуар для поддержания давления;

При очень высоком уровне в резервуаре (голосование LZA-151/152/153: 2 из 3) UZ-100 выполняет следующие действия:

- закрывает отсечной клапан подачи (UZV-101) через электромагнитный соленоид (UZ-101), чтобы перекрыть поток СПГ в резервуар;
- закрывает управляющий клапан PCV-115 через соленоид (UZ-109), так же чтобы перекрыть поток СПГ в резервуар;
- принудительно переводит регулятор давления PC-115 в ручной режим и выход 0 % для закрытия PCV-115, чтобы перекрыть поток СПГ в резервуар.

Для предотвращения повреждения насоса P-3401A/B/C/D за счет кавитации и работы в сухом состоянии (погружной насос) и предотвращения открытия устройств сброса давления за счет высокого/низкого давления в резервуаре UZ-130 отключает насос любым из следующих сигналов:

- очень высокое давление в резервуаре (PZA-158), для предотвращения повышенного давления в резервуаре;
- очень низкое давление в резервуаре (PZA-157), для предотвращения образования вакуума в резервуаре;
- очень низкий уровень в резервуаре (LZA-151), для предотвращения повреждения насоса.

2.8.1 Модернизация системы противоаварийной защиты

Как мы знаем на любом промышленном предприятии одной из главных целей является безопасность. А именно важность предотвращения серьезных

аварий в области управления технологическими процессами с учетом потенциального масштаба воздействия на персонал и общество. Международные стандарты IEC 61508 и IEC 61511 призывают к снижению риска с помощью систем противоаварийной защиты (SIS), а также конфигурации нескольких защитных слоев в системе управления технологическими процессами для предотвращения крупных аварий. Системы безопасности должны быть как безопасными, так и высоконадежными. Как правило, безопасность и высокая надежность кажутся схожими по смыслу. Однако термин «безопасность» применительно к системам безопасности означает уровень точности, при котором происходит останов производственного процесса при возникновении проблемы, и перевод технологического процесса в безопасный режим, даже если произойдет отказ контроллера безопасности противоаварийной защиты. В отличие от этого, надежность относится к низкой вероятности отключения технологического процесса из-за сбоя в системе безопасности (частота срабатывания при ошибках низкая). С точки зрения пользователя, на одной и той же установке осуществляется как управление технологическим процессом, так и обеспечение безопасности, что требует решений, комплексно учитывающих как управление технологическим процессом, так и обеспечение безопасности.

2.8.2 Модернизация среднего уровня АСУТП

Проведем анализ существующих на рынке контроллеров (не ниже SIL 3) для возможной модернизации системы противоаварийной защиты:

- Yokogawa – ProSafe RS;
- Emerson – Delta-V SIS;
- Schneider-Electric – Triconex;
- Honeywell – Safety Manager.

Общий вид контроллеров безопасности представлен на рисунке 31.

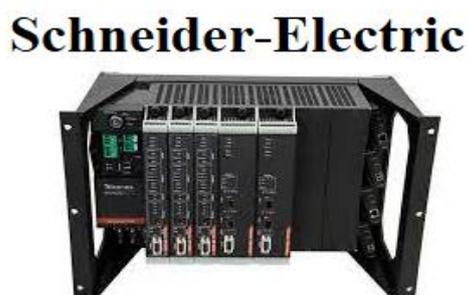
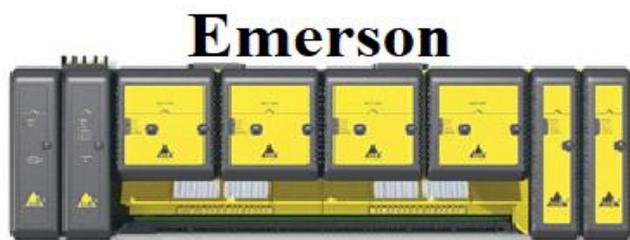
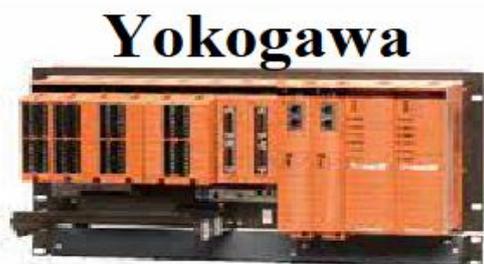


Рисунок – 31 Общий вид контроллеров безопасности.

Технические характеристики контроллеров представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические характеристики контроллерного оборудования

Характеристика ПЛК	Yokogawa ProSafe-RS	Emerson Delta-V SIS	Schneider-Electric Triconex	Honeywell Safety Manager
Модульное расширение	Да	Да	Да	Да
Резервирование	Двойное	Двойное	Тройное	Двойное
Типы интерфейсов связи	PROFINET/ V-net/ Ethernet	Ethernet/ PROFINET/ PROFIBUS/ Modbus	PROFIBUS/ Ethernet/PROFIN ET/ Modbus	Ethernet/ PROFIBUS/ Ethernet/PROFIN ET/ Modbus
Время цикла, мс	0,1	0,25	0,2	0,1
Центральный процессор	MIPS R5000, 200 МГц	Intel® Atom™ E3845, 191 МГц	Motorola MPC860, 50 МГц	Dual Core ARM® Cortex™- A9, 667 МГц
Объем оперативной памяти	128 МБ	128 МБ	128 МБ	128 МБ
Средний срок службы	10 лет	15 лет	10 лет	10 лет
Средняя наработка на отказ, ч	130000 ч	140000 ч	100000 ч	135000 ч
Рабочая температура, °С	От минус 40 до плюс 50 °С	От минус 40 до плюс 50 °С	От минус 40 до плюс 50 °С	От минус 40 до плюс 50 °С
Стоимость, руб	2300000	2800000	2000000	2900000

Далее сравним все контроллеры безопасности и проанализируем возможность интеграции каждого в уже существующую архитектуру Yokogawa – Centum VP (Таблица 9).

Таблица 9 – Анализ и оценка интеграции контроллеров

Критерий/ вариант	Yokogawa ProSafe-RS	Другая система ПАЗ с двойным резервированием и системой диагностики (Emerson Delta-V SIS, Honeywell Safety Manager)	Система ПАЗ с тройным резервированием (Schneider-Electric Triconex)
Технический	Поддерживает существующую системную архитектуру без необходимости повторного пересмотра дизайна и повторного создания нового системного домена	Незначительное изменение существующей системной архитектуры, включая незначительный пересмотр дизайна и повторное создание нового домена	Существенное изменение существующей системной архитектуры, включая капитальный пересмотр дизайна и повторное создание нового домена
	Принятая технология и одобренная мировым лидером в сфере экспертизы, испытаний и сертификации SGS.	Принятая технология и одобренная мировым лидером в сфере экспертизы, испытаний и сертификации SGS.	Принятая технология и одобренная мировым лидером в сфере экспертизы, испытаний и сертификации SGS.
Календарный план	Поставщик существующей системы, предварительные инженерные работы выполняются поставщиком, что сокращает цикл проектирования не менее чем на 6 месяцев.	Требуется дополнительное проектирование, по оценке, более 6 месяцев, для изучения изменения системной архитектуры и привязке к существующей системе.	Дальше не оценивался
Цена	Yokogawa снижает стоимость оборудования и поддержки при установке и вводе в эксплуатацию.	Новый поставщик может снизить цену, предоставив скидку, чтобы попасть на рынок.	
Ресурсы	Легкодоступность ресурсов на о. Сахалин для поддержки установки/ввода в эксплуатацию новой системы.	Компания EMERSON располагает легкодоступными ресурсами на о. Сахалин для поддержки установки/ввода в эксплуатацию новой системы.	
	Существующие ресурсы знакомы с настройкой системы	Существующие ресурсы не знакомы с настройкой системы	

Проанализировав данные из таблицы 9, можно сделать вывод, что целесообразно выбрать для модернизации контроллер ProSafe-RS японского производителя Yokogawa.

Так как ключевым моментом модернизации является только замена системы противоаварийной защиты (SIS), сохранив при этом существующую мнемосхему FCS. То нам необходимо удалить интерфейсный модуль

MULCOM и компоненты ProSafe-PLC и заменить их компонентами ProSafe-RS на шине управления V-net/IP. Чтобы использовать существующую сеть FCS (V-net), установим маршрутизатор AVR10D V-net. Сетевая миграция и интеграция ProSafe-RS с существующими компонентами показана на рисунке 32. Основные технические характеристики маршрутизатора AVR10D представлены в приложении Т.

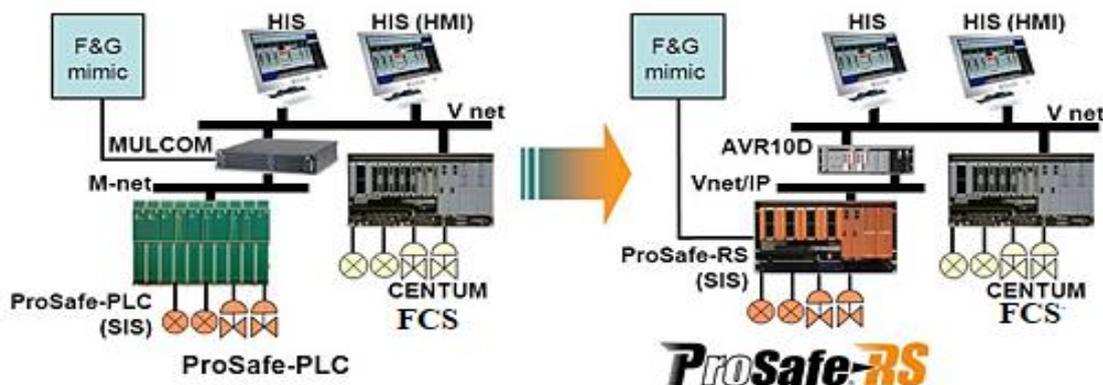


Рисунок 32 – Сетевая миграция и интеграция ProSafe-RS

Уникальная особенность серии CENTUM – это очень высокая стабильность управления технологическим процессом, за счет своей схемы резервирования контроллера (рисунок 33). Каждый процессорный модуль имеет резервные центральные платы, которые одновременно выполняют одни и те же вычисления. Их выходы постоянно сравниваются, и при обнаружении каких-либо аномалий инициируется плавное переключение на резервный процессорный модуль. Это сводит к минимуму вероятность того, что ошибки окажут влияние на управление процессом.

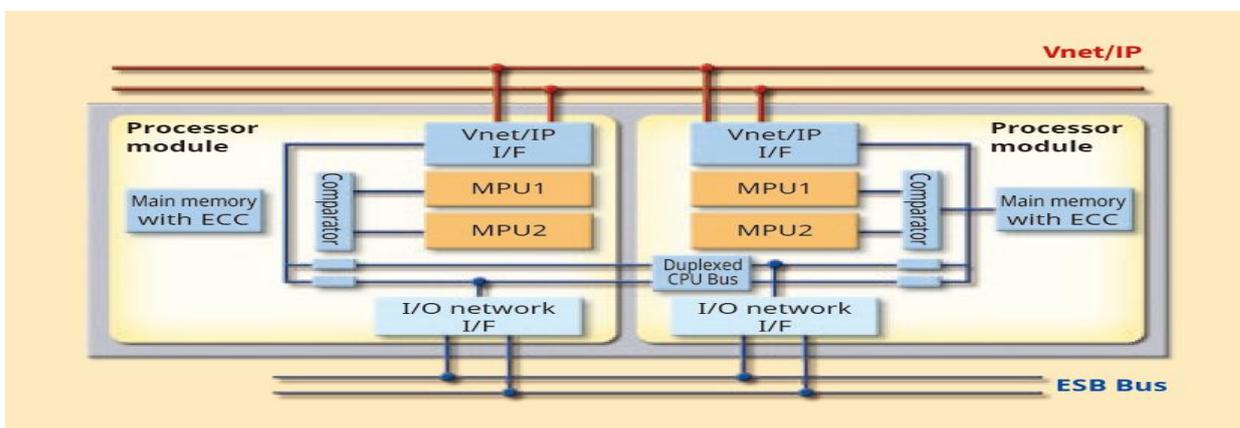


Рисунок 33 – Схема резервирования контроллера

2.8.3 Модернизация верхнего уровня АСУТП

На верхнем уровне АСУТП проведем модернизацию уже устаревшего сервера (производитель HP серия ML310E) и устаревшей рабочей станции оператора (производитель HP серии Z420), которые были установлены при проектировании завода СПГ.

Рассмотрим несколько серверов для возможной модернизации и запишем характеристики в таблицу 10 для сравнения:

- HPE ProLiant DL380 Gen10 P24848-B21;
- DELL PowerEdge R740;
- Lenovo ThinkSystem SR590.

Общий вид серверов показан на рисунке 34.



Рисунок 34 – Общий вид серверов

Таблица 10 – Характеристики рассматриваемых серверов

Характеристики сервера	HPE ProLiant DL380 Gen10 P24848-B21	DELL PowerEdge R740	Lenovo ThinkSystem SR590
Центральный процессор	Intel Silver 4215R	Intel Xeon Silver 4110	Intel Xeon Silver 4210
Тактовая частота процессора	3,2 ГГц	2,1 ГГц	2,2 ГГц
Количество ядер процессора	8	8	10
Максимальное количество процессоров	2	2	1
Оперативная память	32 Гб	16 Гб	16 Гб
Тип памяти/частота шины	DDR4/2933 МГц	DDR4/3200 МГц	DDR4/2666 МГц
Максимальный объем оперативной памяти	1536 Гб	6,14 Тб	1024 Гб
Максимальное количество жестких дисков	30	24	16
Блок питания	1 x 800 Вт	1 x 750 Вт	2 x 750 Вт
Форм фактор	2U (Rack Server)	2U (Rack Server)	2U (Rack Server)
Стоимость, руб.	386000	700000	855000

При выборе сервера стоит обращать внимание на тип процессора, тип и объем оперативной памяти и количество устанавливаемых жестких дисков. Для модернизации возьмем сервер производителя DELL серии PowerEdge R740 за счет большего расширения объема оперативной памяти и высокой частоты шины, что повысит скорость работы системы.

Для замены рабочей станции оператора также рассмотрим возможные варианты:

- HP Z2 G5;
- DELL Precision 5820 x;
- Lenovo ThinkStation P350.

Общий вид рабочих станций представлен на рисунке 35. Общие характеристики рассматриваемых рабочих станций приведены в таблице 11.



Рисунок 35 – Общий вид рабочей станции

Таблица 11 – общие характеристики рабочих станций

Характеристики сервера	HP Z2 G5	DELL Precision 5820 X	Lenovo ThinkStation P350
Центральный процессор	Intel Core i7 10700K	Intel Core i7 9800X	Intel Core i5 11600K
Тактовая частота процессора	3,8 ГГц	3,8 ГГц	3,9 ГГц
Количество ядер процессора	8	8	6
Оперативная память	16 Гб	16 Гб	64 Гб
Тип памяти/частота шины	DDR4/3200 МГц	DDR4/2666 МГц	DDR4/3200 МГц
Объем SSD	512 Гб	512 Гб	1000 Гб
Видеокарта	Nvidia RTX A2000, 6 Гб	Nvidia Quadro P4000, 8 Гб GDDR5	Nvidia Quadro T600, 4 Гб GDDR5
Стоимость, руб.	202000	104000	145 000

Выберем рабочую станцию производителя DELL серии Precision 5820 X так как это самый лучший вариант по соотношению цена/качество. Также при заказе сервера и рабочих станций у одного производителя возможно получить дополнительную скидку.

2.9 Разработка программного, информационного и алгоритмического обеспечения

2.9.1 Разработка алгоритма сбора данных измерений с уровнемеров

Для разработки алгоритма сбора данных подойдет датчик измерения уровня жидкости в резервуаре. Алгоритм сбора данных уровня СПГ в резервуаре представлен в приложении У.

Этот алгоритм реализуется в функционале среднего уровня АС (в ПЛК). Последовательность работы АС по данному алгоритму:

- опрос показания датчика уровня;
- считывание аналогового сигнала (4 – 20) мА с модуля ввода-вывода ПЛК;
- масштабирование в единицы измерения – мм;
- сравнение с предыдущим значением;
- в случае изменения значения, отправляются новые данные на верхний уровень (SCADA) для отображения на экране;
- проверка нового значения на нахождения в диапазоне допустимых значений;
- вывод информации на верхний уровень о недопустимых значениях уровня жидкости в резервуаре.

2.9.2 Разработка алгоритма пуска/останова погружного насоса

Для разработки алгоритма пуска/останова технологического оборудования выберем погружной криогенный насос для выгрузки СПГ на причал погрузки.

В процессе выгрузки СПГ необходимо контролировать максимально высокое давление (12 кПа) в резервуаре для предотвращения сработки предохранительных устройств, минимальное давлением (0,5 кПа) для предотвращения образования вакуума и следить за минимальным уровнем жидкости для защиты насоса от сухого хода.

Алгоритм пуска/останова насосных агрегатов представлен в приложении Ф.

2.9.3 Разработка алгоритма системы автоматического регулирования давления продукта на входе в резервуар

В процессе перекачки СПГ с технологических линий в резервуар требуется поддержание давление равное 80 кПа в трубопроводе между насосом и регулирующим клапаном, который установлен на входе в резервуар. Это предотвратит образование газообразной фазы в отводящем трубопроводе. Так же, еще одной из задач РСВ-115 является равномерное наполнение обоих резервуаров (сравниваются показания уровнемеров с обоих резервуаров). Поэтому параметром регулирования будет являться давление СПГ в трубопроводе.

Для регулирования выберем пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор), который в настоящее время широко используется в промышленности.

ПИД-регулятор – это инструмент, применяемый в приложениях индустриального управления для регулирования технологических параметров процесса. ПИД-регулятор использует механизм обратной связи контура

управления для управления переменными процесса и является особенно точным и стабильным регулятором.

Процесс регулирования давления в трубопроводе на входе в резервуар показан на рисунке 36.

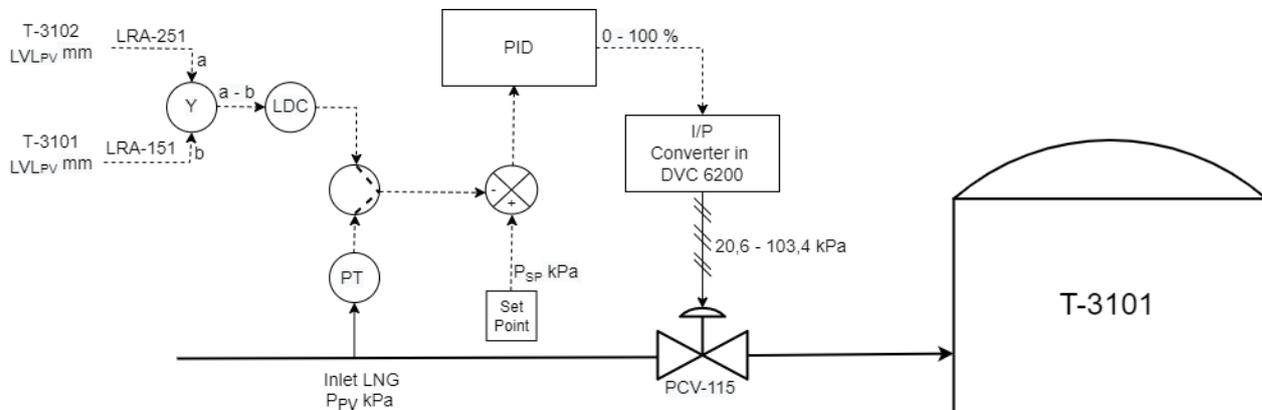


Рисунок 36 – Схема регулирования давления

Математическое описание процесса регулирования давления в трубопроводе можно представить в виде общей структурной схемы (рисунок 37).

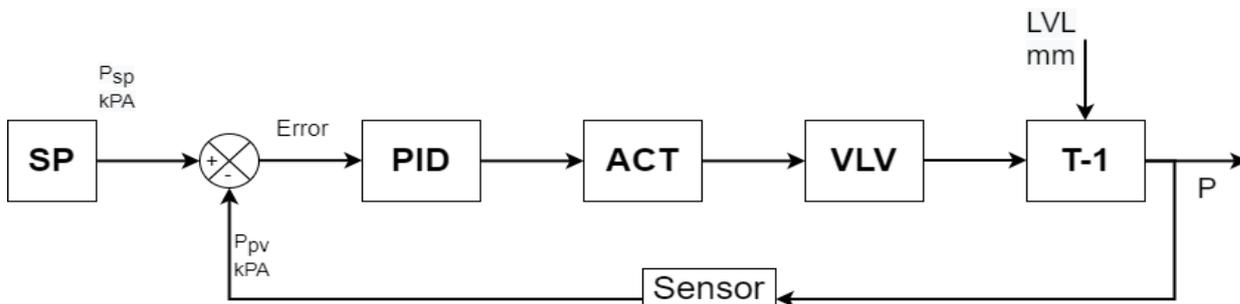


Рисунок 37 – Структурная схема одноконтурной САР давления

SP (Set Point) – уставка;

PID – ПИД-регулятор;

АСТ – привод клапана (усилитель мощности);

VLV – исполнительный механизм (регулирующий клапан);

T-1 – объект управления (трубопровод)

LVL – возмущающее воздействие (уровень в резервуаре)

Исходные данные для моделирования процесса регулирования давления на участке трубопровода от места установки датчика давления до клапана (возьмем длину участка равную 10 метров):

- максимальная пропускная способность клапана:

$$C = 10512 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} = 1,92 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \quad (1)$$

- постоянная времени клапана: $T_{vlv} = 3$ с;
- диапазон измерения сенсора давления (0 – 1800) кПа: $R = 1800$ кПа;
- постоянная времени датчика давления: $T_s = 2$ с;
- в процессе эксплуатации требуется поддерживать давление равное 80 кПа, поэтому в качестве передаточной функции уставки (задания) примем постоянную равную 80;
- привод клапана заменим усилителем с коэффициентом усиления:

$$k_p = \frac{12}{100} = 0,12; \quad (2)$$

- передаточная функция клапана описывается апериодическим звеном первого порядка:

$$W_{vlv}(s) = \frac{k_{vlv}}{T_{vlv}s+1} = \frac{1,92/12}{T_{vlv}s+1} = \frac{0,16}{3s+1}; \quad (4)$$

- передаточная функция датчика измерения давления:

$$W_s(s) = \frac{100/R}{T_s s+1} = \frac{100/1800}{2s+1} = \frac{0,05}{2s+1}; \quad (5)$$

Передаточная функция для участка трубопровода определяется по формуле:

$$W_p(s) = \frac{k_p}{T_s+1}; \quad (6)$$

где:

k_p – коэффициент передачи трубопровода.

T – постоянная времени трубопровода.

Постоянная времени объекта и запаздывание находится по формулам:

$$T = \frac{L}{v}, v = \frac{Q}{S}, s = \frac{\pi d^2}{4}; \quad (7)$$

где:

L – длина участка трубопровода между датчиком измерения давления и регулирующим механизмом;

v – скорость потока;

s – площадь поперечного сечения трубопровода;

d – диаметр трубы;

Q – объемный расход жидкости.

Коэффициент передачи трубопровода определяется по формуле:

$$k_p = \frac{P_p}{P_p} = \frac{0,8}{0,8} = 1; \quad (8)$$

Далее необходимо заполнить таблицу 12 параметрами, необходимыми для расчета передаточной функции трубопровода.

Таблица 12 – параметры необходимые для расчета

Наименование	Единица измерения	Количество
Объемный расход жидкости	м ³ /с	3,3 (12000 м ³ /ч)
Длина участка трубопровода	м	10
Диаметр трубы	мм	500

Рассчитаем передаточную функцию для участка трубопровода:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 * 0,25}{4} = 0,19 \text{ м}^2; \quad (9)$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{3,3}{0,19} = 17,36 \text{ м/с}; \quad (10)$$

$$T = \frac{L}{v} = \frac{10}{17,36} = 0,57 \text{ с}. \quad (11)$$

Тогда, передаточная функция трубопровода примет следующий вид:

$$W_p(s) = \frac{k_p}{T_s + 1} = \frac{1}{0,57s + 1}. \quad (12)$$

Построенная модель процесса регулирования давления в программной среде Simulink представлена на рисунке 38.

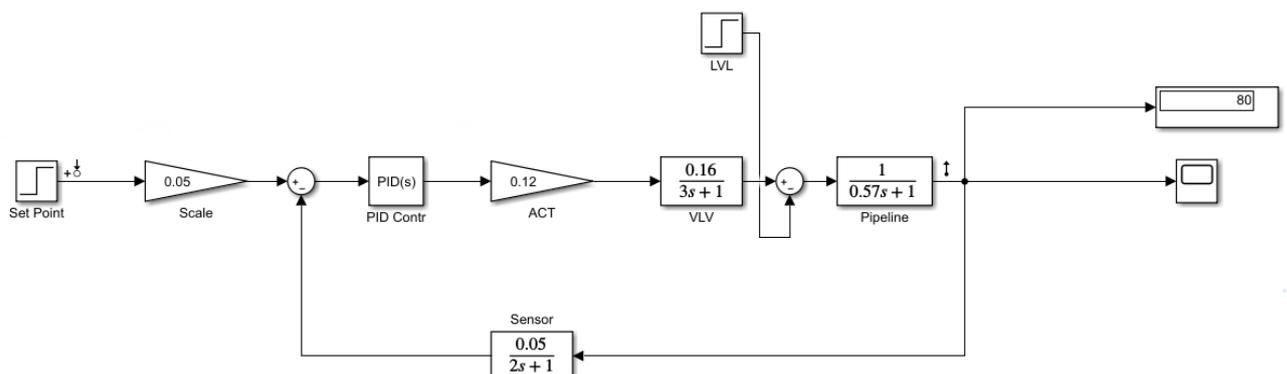


Рисунок 38 – Модель в программной среде Simulink

Для получения качественной характеристики переходного процесса, параметры ПИД-регулятора подбирались автоматической настройкой. Автонастройка представлена на картинке 39. Параметры ПИД-регулятора показаны на рисунке 40. График переходного процесса показан на рисунке 41. Характеристики переходного процесса показаны на рисунке 42.

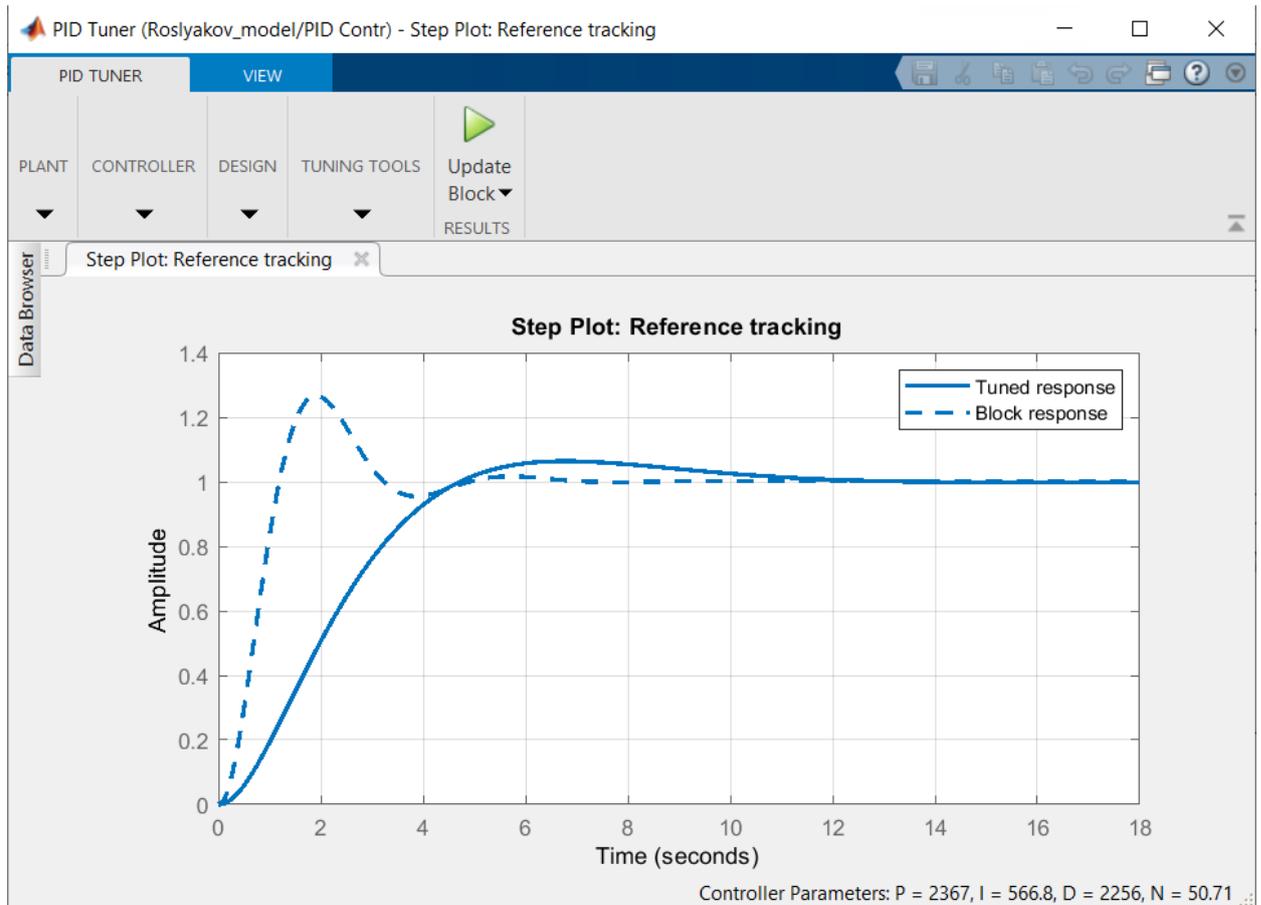


Рисунок 39 – Автонастройка ПИД-регулятора

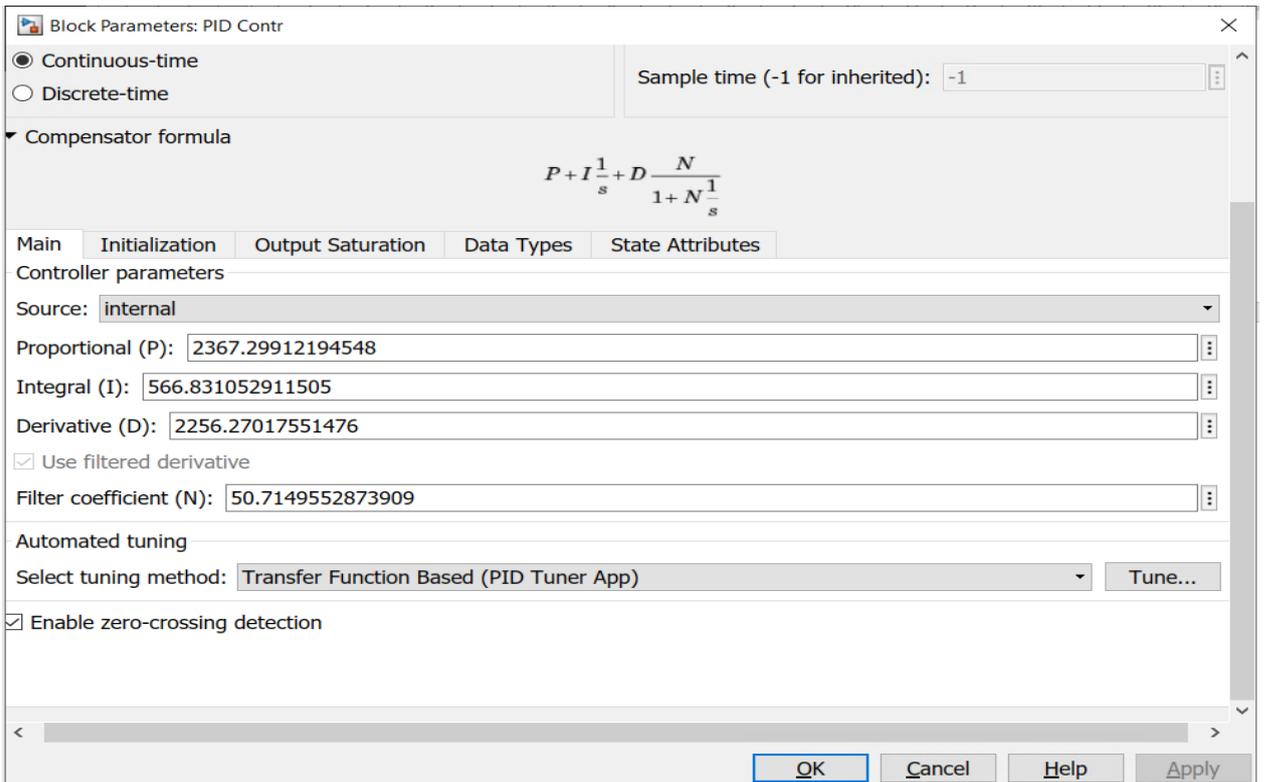


Рисунок – 40 Настройки ПИД-регулятора

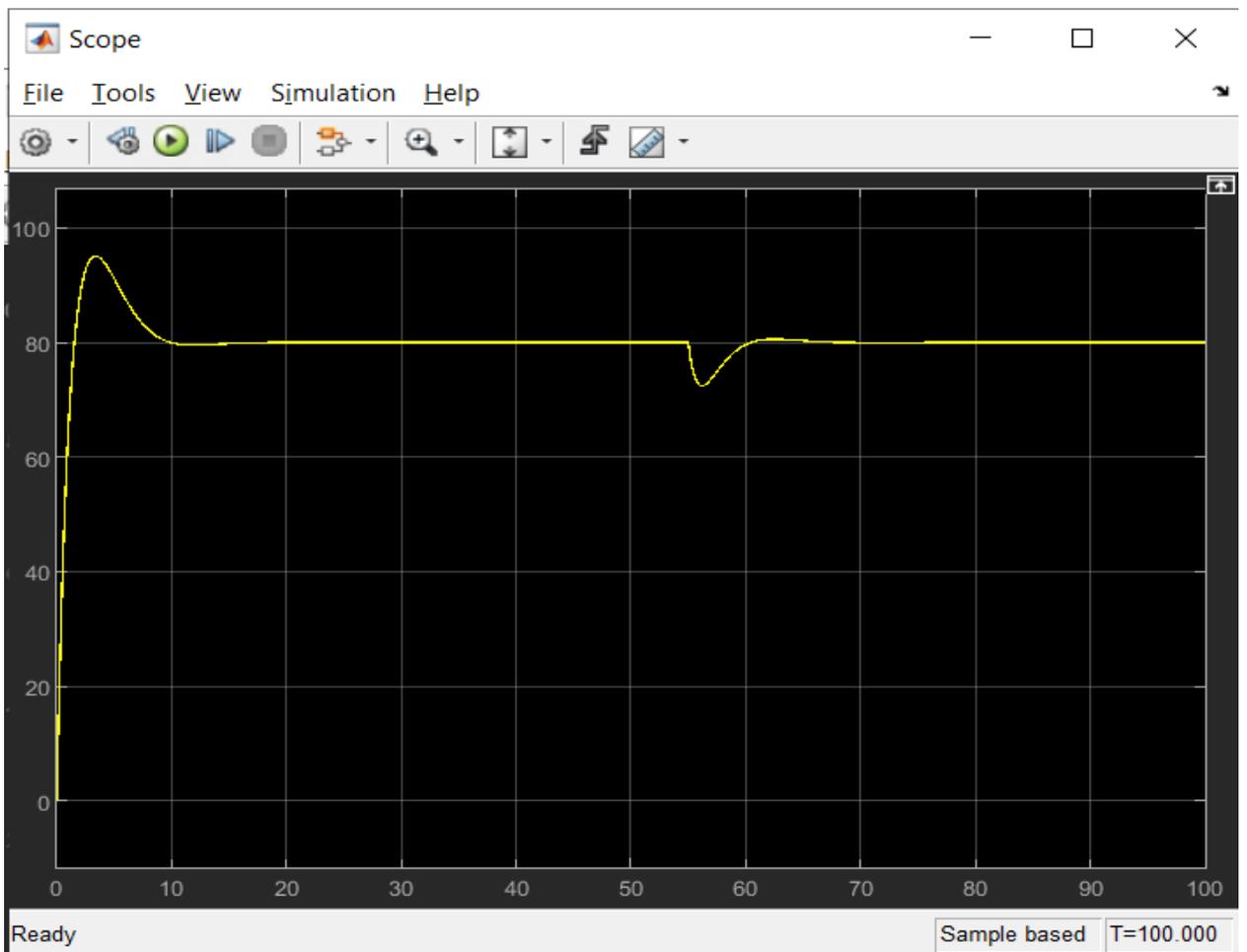


Рисунок 41 – График переходного процесса

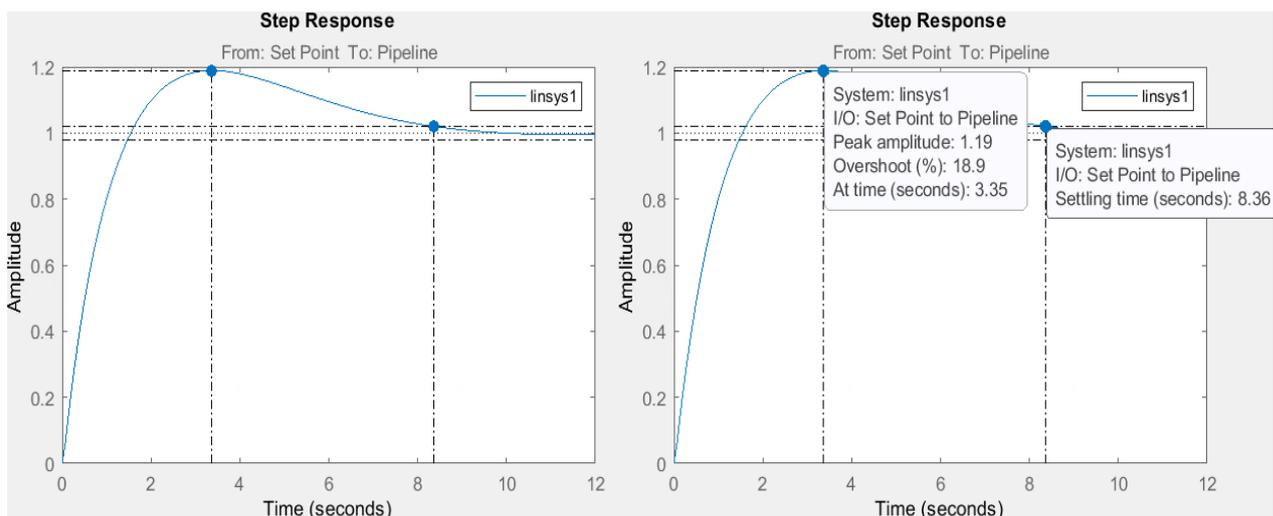


Рисунок 42 – Характеристики переходного процесса

Время переходного процесса составляет 8,36 секунд. Статическая ошибка равна нулю. Перерегулирование составляет 18,9 %. Полученные характеристики соответствуют требованиям, которые предъявляются системе. Система устойчива и легко регулирует возмущение, которое появилось на 55 секунде.

2.9.4 Разработка программного обеспечения для программируемых логических контроллеров

Для программирования логического контроллера используется программная среда Centum VP R6.04, разработанная компанией Yokogawa Electric Corporation.

2.10 Экранные формы автоматизированной системы управления технологическим процессом

Программная среда Centum VP отображает простые для понимания графические данные, основанные на эргономике и инженерных знаний. К примеру, дисплеи с данными имеют обеспечивают высокую видимость, что позволяет интуитивно понимать ситуацию. Использование цветовой гаммы

учитывает наилучшую контрастность. Это позволяет операторам принимать быстрые и точные решения по контролю технологического процесса.

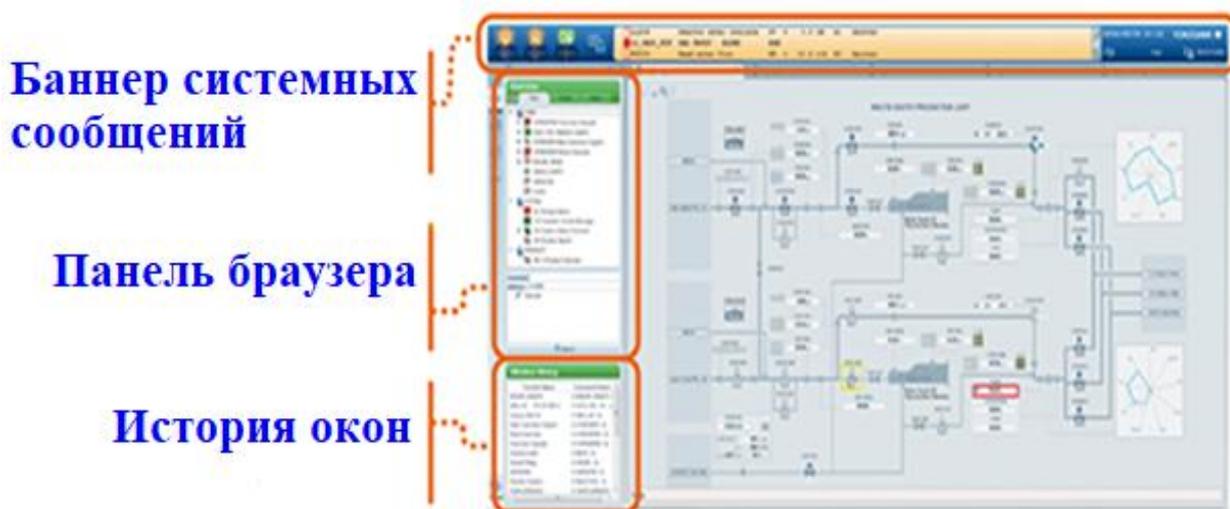


Рисунок – 42 Программная среда Centum VR

Баннер системных сообщений непрерывно отображает последние аварийные сообщения, информируя операторов о состоянии процесса.

Панель браузера содержит инструменты навигации для удобства операторов, часто используемые значки могут быть сгруппированы в папку «Мое избранное».

В окне история окон перечисляются предыдущие рабочие экраны. В этом окне операторы могут быстро вызывать ранее использовавшиеся графические окна.

Система управления аварийными сигналами обеспечивает безопасную и надежную работу. Система организует и объединяет сигналы тревоги, выдаваемые заводскими устройствами (рисунок 43), помогая операторам сосредоточиться на тех сигналах тревоги, которые считаются критически важными. Это позволяет операторам сосредоточиться на мониторинге процессов, тем самым повышая общую эффективность предприятия.

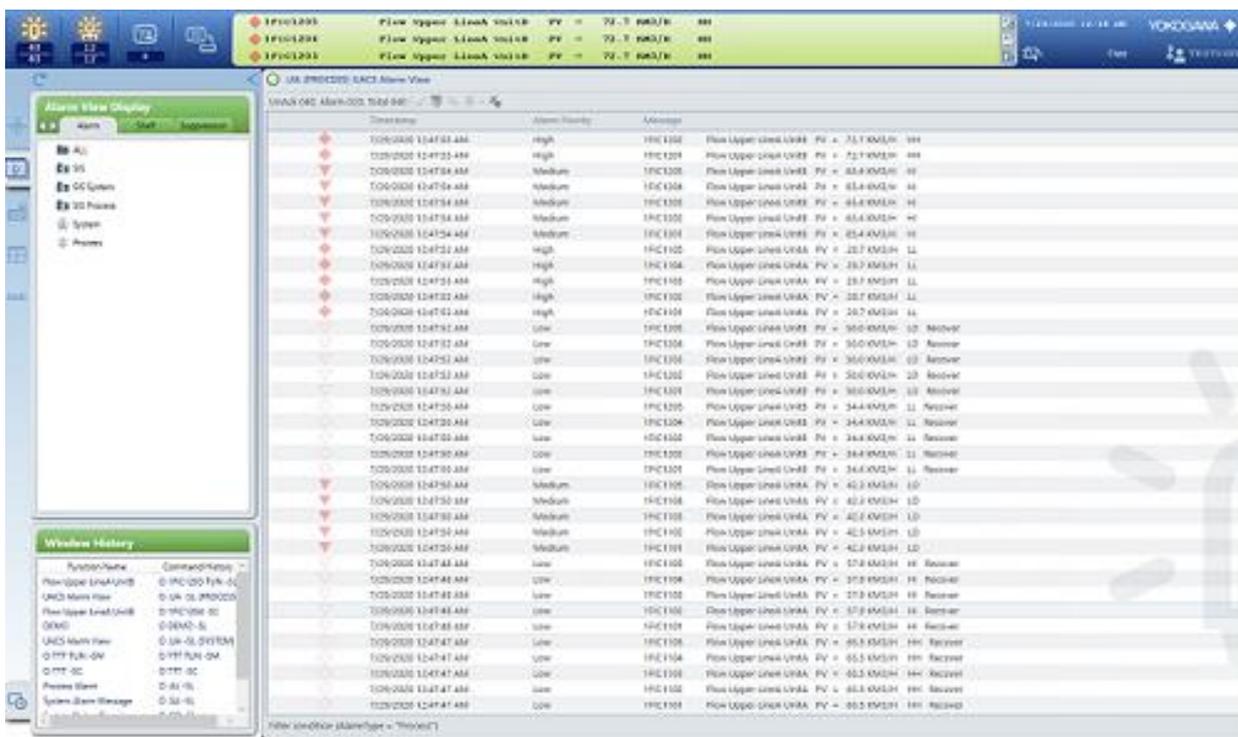


Рисунок – 43 Организация сигналов тревоги

2.10.1 Разработка мнемосхем SCADA-системы в среде Centum VP

На рисунке 44 представлена общая схема резервуара СПГ, отображаемая на мониторе оператора. Здесь оператор может отследить параметры потока на выгрузку/рециркуляцию, нагрузку на насосах для выгрузки СПГ и температура входящего СПГ. Также при нажатии на значок насоса, появляется окно с параметрами ручного переключателя. Окна с параметрами представлены на рисунке 45.

Также у оператора есть схема для отслеживания параметров температуры, давления и уровня в резервуаре (рисунок 46), где также при нажатии на любой параметр, открывается окно с параметрами.

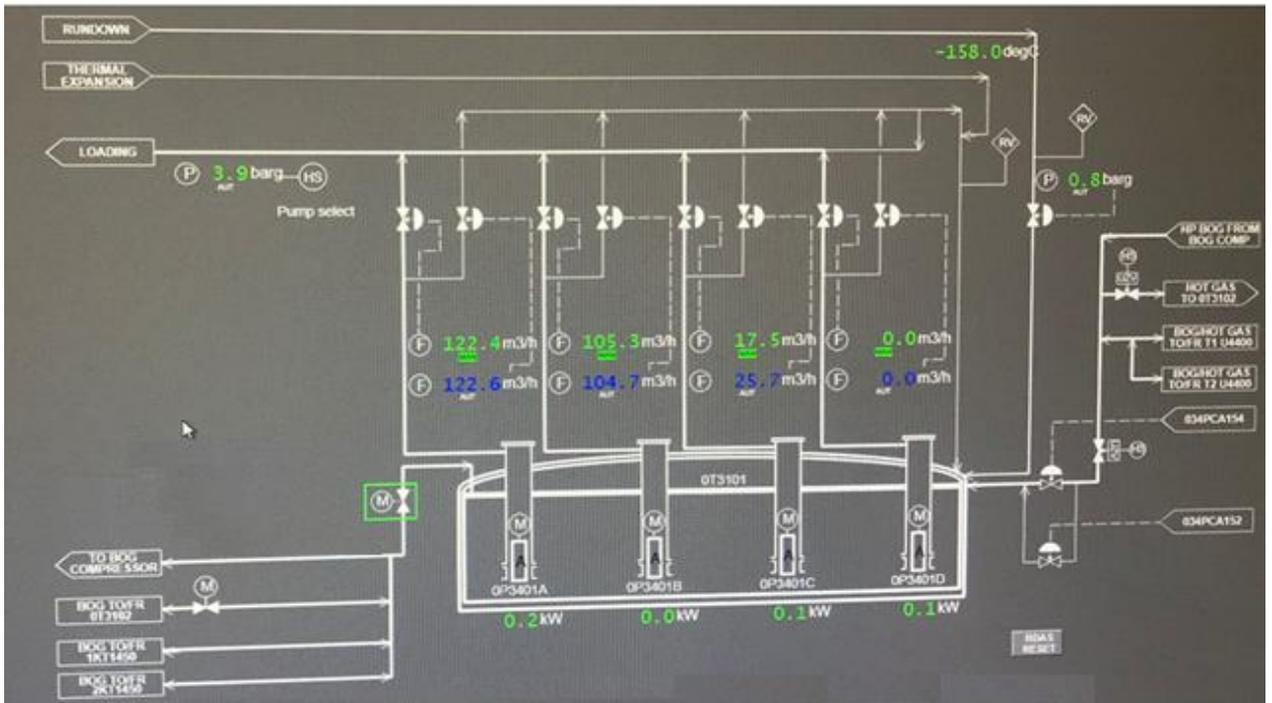


Рисунок – 44 Общая схема резервуара СПГ



Рисунок – 45 Окно параметров

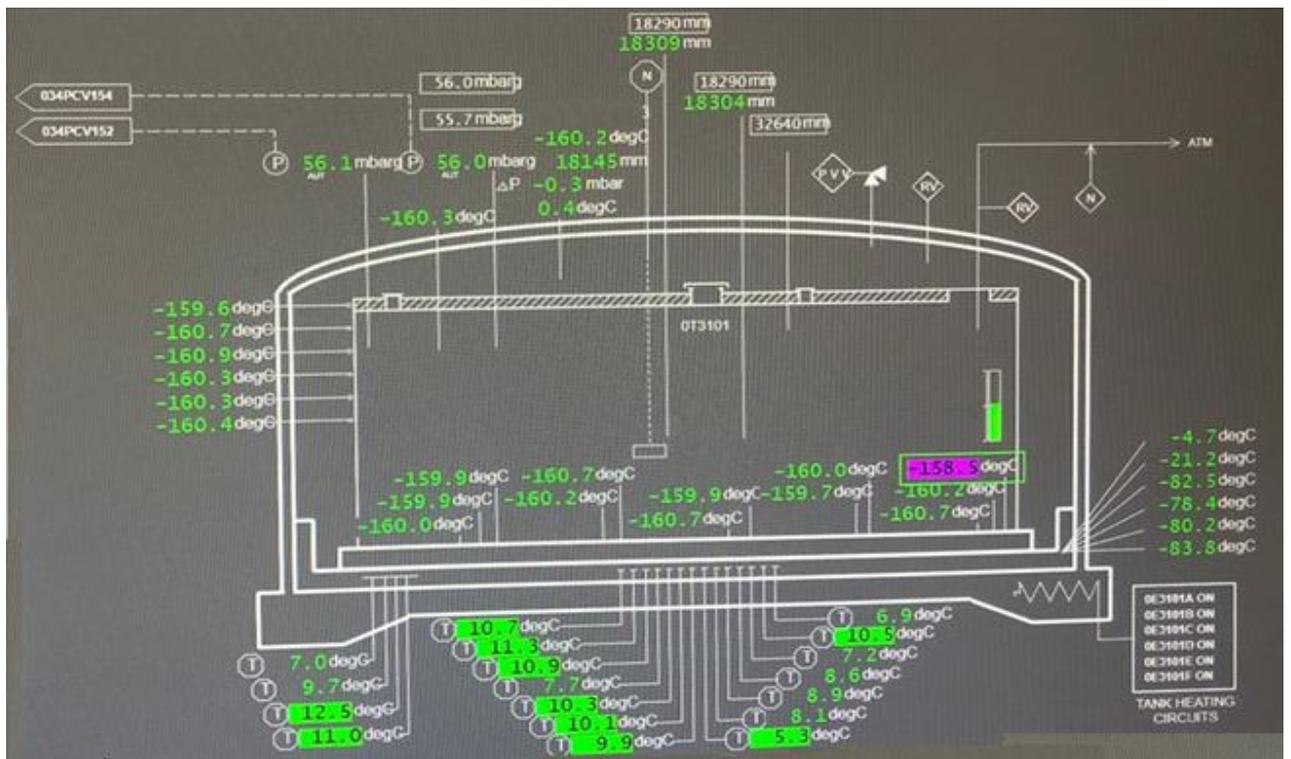


Рисунок – 46 Параметры температуры, давления и уровня в резервуаре

2.10.2 Разработка трендов в среде PI ProcessBook

PI ProcessBook – это графический пакет, который позволяет создавать динамические интерактивные графики и тренды с использованием данных PI system в реальном времени. Также в этом пакете можно анализировать данные параметров технологического процесса.

В данном графическом пакете также есть общая схема резервуаров (рисунок 47). Для примера возьмем тренды параметров давления в резервуаре (рисунок 48) и регулировку давления входного клапана PCV-115 (рисунок 49).

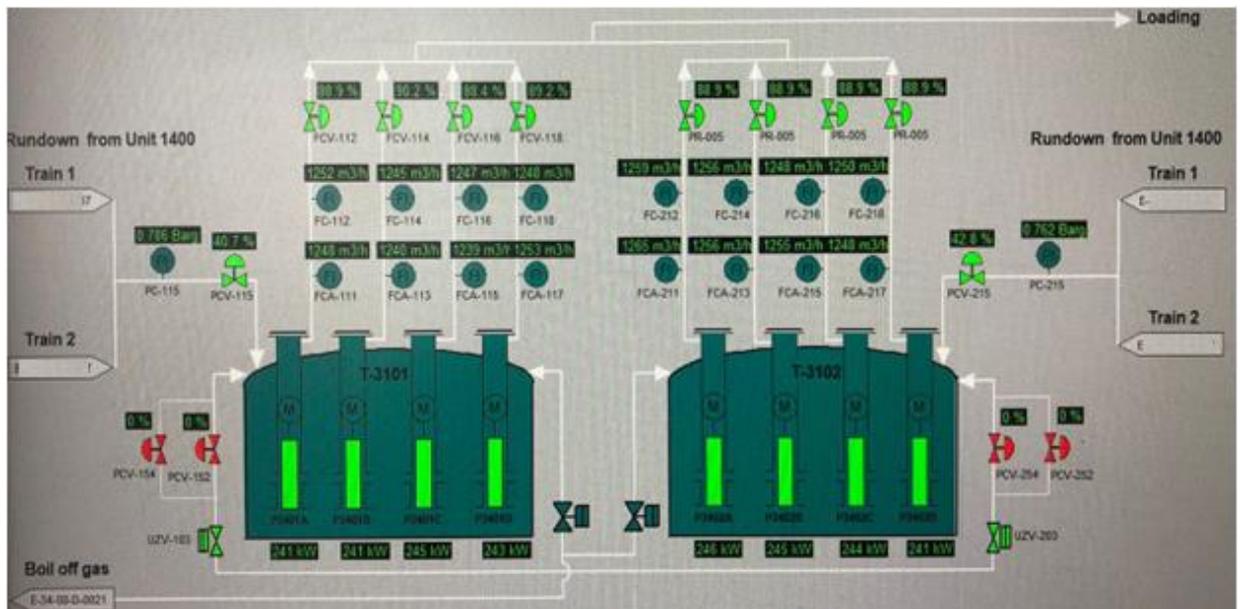


Рисунок – 47 Общая схема резервуаров в графическом пакете PI ProcessBook

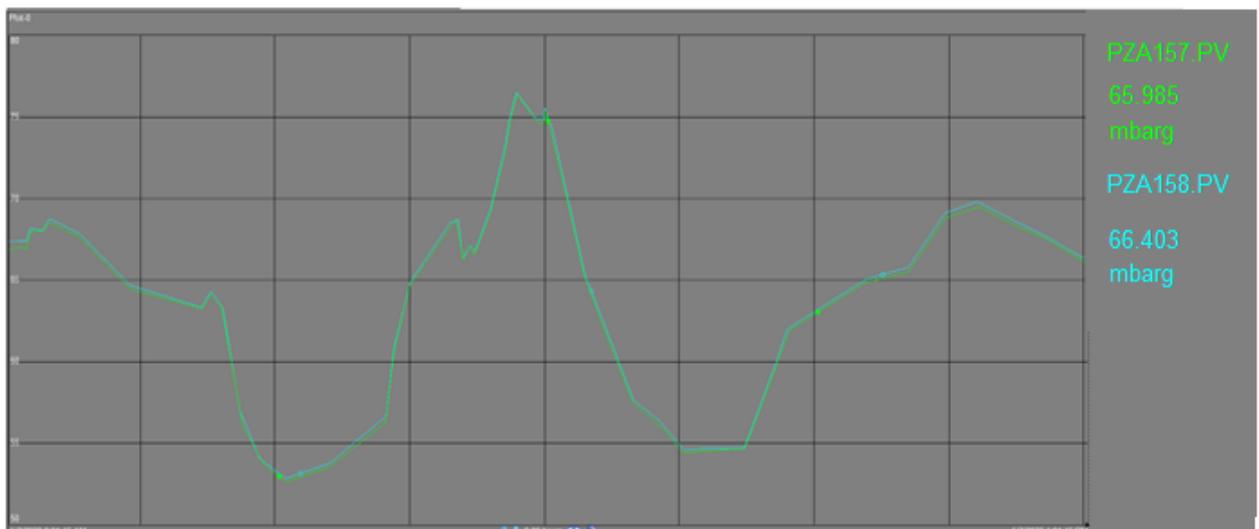


Рисунок – 48 тренд параметров давления в резервуаре

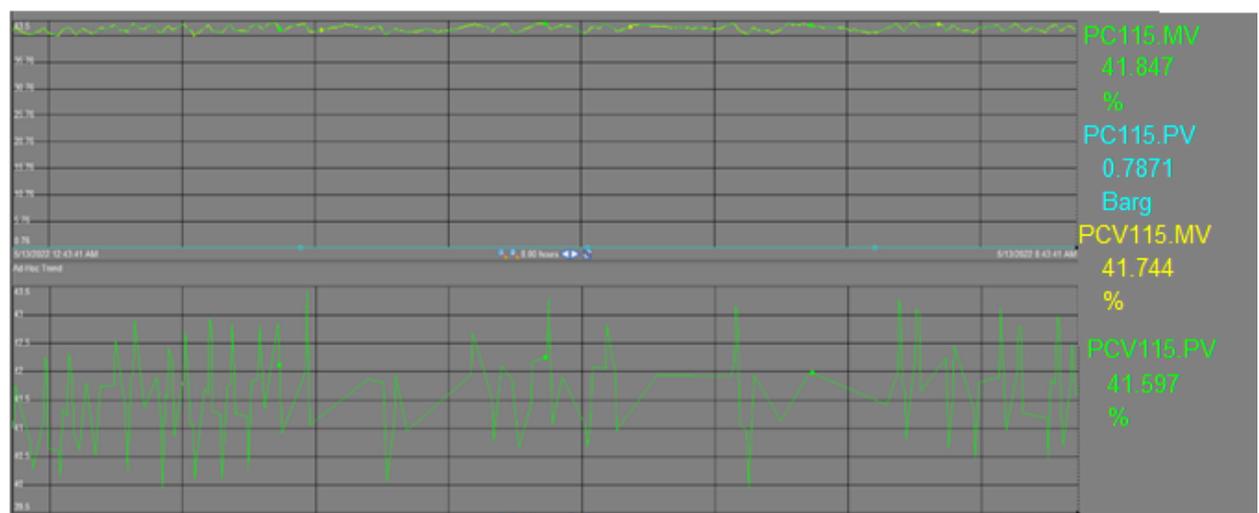


Рисунок – 49 Регулировка давления клапаном PCV-115

3 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1 Технология QuaD

Технология QuaD (Quality Advisor) – это программный пакет, построенный на базе централизованной базы данных оптимизации и рационализации измерения качественных характеристик разработанного проектного решения для определения перспективности на современном рынке. Это в свою очередь поможет принять решение о целесообразности инвестирования в инженерный проект.

Проведём анализ с помощью технологии QuaD и для упрощения заполним таблицу 13.

Таблица 13 – Оценочная карта QuaD

Критерии оценки	Вес	Баллы	Максимальный бал	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
Точность	0,1	90	100	0,9	9
Надежность	0,2	100	100	1	20
Отказоустойчивость	0,2	100	100	1	20
Самодиагностика	0,1	90	100	0,9	9
Быстрота реагирования	0,15	100	100	1	15
Простота эксплуатации	0,05	80	100	0,8	4
Компактность	0,1	80	100	0,8	8
Простота конструкции и ремонтпригодность	0,1	80	100	0,8	8
Итого	1	720	800	6,2	93

По технологии QuaD показатели рассчитываются экспертным путём по сто бальной шкале, где 100 – наиболее сильная позиция, а 1 – наиболее слабая. Веса всех показателей должны быть равными единице. Оценка качества и эффективности по данной технологии, определяется по следующей формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i \quad (13)$$

где:

P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности проекта;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -того показателя.

Средневзвешенное значение измеряется в пределах от 0 до 100 и показывает качество проведенного исследования и перспективы проекта (рисунок 50).

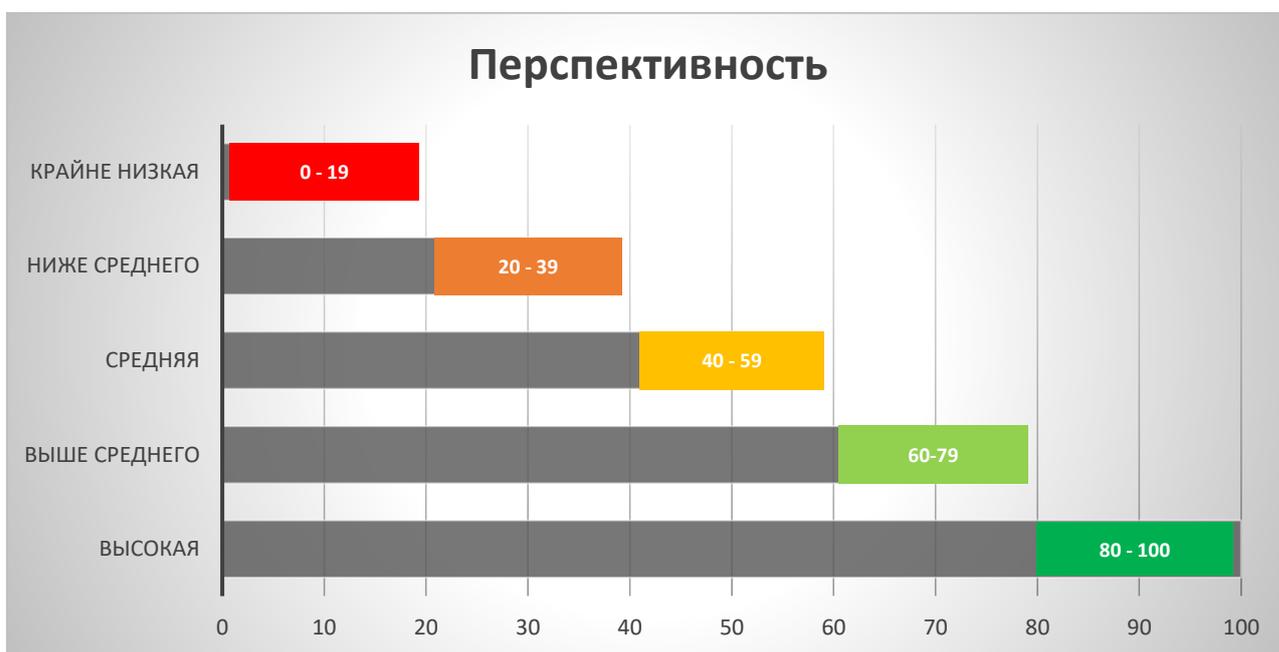


Рисунок 50 – Перспективность проекта

В результате проведенного анализа, средневзвешенное значение получилось равное 93, поэтому можно сделать вывод, что данный проект будет иметь высокие шансы быть лидером на рынке контроллерного оборудования систем противоаварийной защиты.

3.2 SWOT-анализ

Далее проведем анализ оценки внешних и внутренних факторов, а также текущий и будущий потенциал с помощью технологии SWOT. Данная

технология разделяет факторы на четыре категории для оценки конкурентной позиции компании и разработки стратегического планирования:

- Strengths – сильные стороны;
- Weaknesses – слабые стороны;
- Opportunities – возможности;
- Threats – угрозы.

Проведем первый этап SWOT-анализа и запишем результаты в таблицу

14.

Таблица 14 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Наличие запасных частей для ремонта и обновлений для системы; С2. Повышение надёжности; С3. Низкие затраты на создание.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие аналогов, не позволяющих учесть недостатки систем; Сл2. Проведение испытаний только на реальном оборудовании; Сл3. Отсутствие опыта построения таких систем.</p>
<p>Возможности: В1. Применение данного решения в других нефтегазовых проектах; В2. Снижение стоимости за счёт использования оборудования предприятия; В3. Снижение стоимости за счёт использования ПО и лицензий предприятия.</p>		
<p>Угрозы: У1. Проблемы с поставкой оборудования; У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции; У3. Нехватка средств на реализацию проекта.</p>		

Сильные стороны оцениваются с внутренней и потребительской точки зрения описывая то, в чём проект преуспевает и что отличает её от конкурентов.

Слабые стороны оцениваются так же с внутренней и потребительской точки зрения показывая стороны, которые мешают проекту находиться на оптимальном уровне. Это области, в которых необходимо улучшиться, чтобы быть конкурентноспособным.

Возможности относятся к благоприятным внешним факторам, которые могут дать проекту конкурентное преимущество.

Угрозы относятся к внешним факторам, которые могут нанести вред проекту.

После того как сформулированы все области SWOT можно переходить к реализации второго этапа, в котором требуется построить интерактивную матрицу проекта. Данная матрица поможет разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT и представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1	С2	С3
	В1	-	+	-
	В2	-	-	+
	В3	+	-	+
Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	-	+
	В2	0	+	+
	В3	-	-	+
Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		С1	С2	С3
	У1	-	-	-
	У2	-	-	-
	У3	-	-	-
Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	-	-
	У2	-	-	-
	У3	-	+	+

Далее приступим к реализации третьего этапа, где должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 16.

Таблица 16 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Наличие запасных частей для ремонта и обновлений для системы; С2. Повышение надёжности; С3. Низкие затраты на создание.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие аналогов, не позволяющих учесть недостатки систем; Сл2. Проведение испытаний только на реальном оборудовании; Сл3. Отсутствие опыта построения таких систем.
Возможности: В1. Применение данного решения в других нефтегазовых проектах; В2. Снижение стоимости за счёт использования оборудования предприятия; В3. Снижение стоимости за счёт использования ПО и лицензий предприятия.	В1(С2); В2(С2С3); В3(С1С3).	В1(Сл1Сл3); В2(Сл2Сл3); В3(Сл3).
Угрозы: У1. Проблемы с поставкой оборудования; У2. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции; У3. Нехватка средств на реализацию проекта.		У3(Сл2Сл3).

3.3 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

При выполнении научного исследования создаётся рабочая группа, в которую входят научные сотрудники, преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. Каждый исполнитель, согласно своей должности, отвечает за ту или иную работу.

Данная работа имеет следующий штат исполнителей:

- Разработчик проекта – техник АСУТП (исполнитель - И);
- Руководитель проекта – инженер АСУТП (научный руководитель - НР).

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	1	Подбор и изучение возможных вариантов модернизации	И
	2	Выбор варианта модернизации	НР, И
	3	Календарное планирование реализации проекта	НР, И
Разработка технического задания	4	Составление и утверждение технического задания	НР
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подбор и изучение материалов	И
Разработка технической документации и проектирование	6	Разработка схем автоматизации	НР, И
	7	Разработка алгоритмов работы	НР, И
	8	Оформление пояснительной записки	И
	9	Оформление графического материала	И
Оформление отчета по работе	10	Согласование выполненной работы с научным руководителем	НР, И
	11	Подведение итогов	НР, И

3.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (14)$$

где:

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (15)$$

где:

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

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

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

3.5 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ является построение диаграммы Ганта.

Данная диаграмма, обычно используемая в управлении проектами, является одним из самых популярных и полезных способов отображения действий (задач или событий) в зависимости от времени. Слева от диаграммы находится список действий, а вверху – подходящая временная шкала. Каждое действие представлено полосой. Положение и длина полосы отражают дату начала, продолжительность и дату окончания действия. Это позволяет сразу увидеть:

- что представляют собой различные виды деятельности;
- когда каждое действие начинается и заканчивается;
- как долго будет длиться каждое действие;
- где действия пересекаются между собой и на сколько;
- дата начала и окончания всего проекта.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (16)$$

где:

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (17)$$

где:

$T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все значения, полученные при расчетах по вышеприведенным формулам, были сведены в таблице 18.

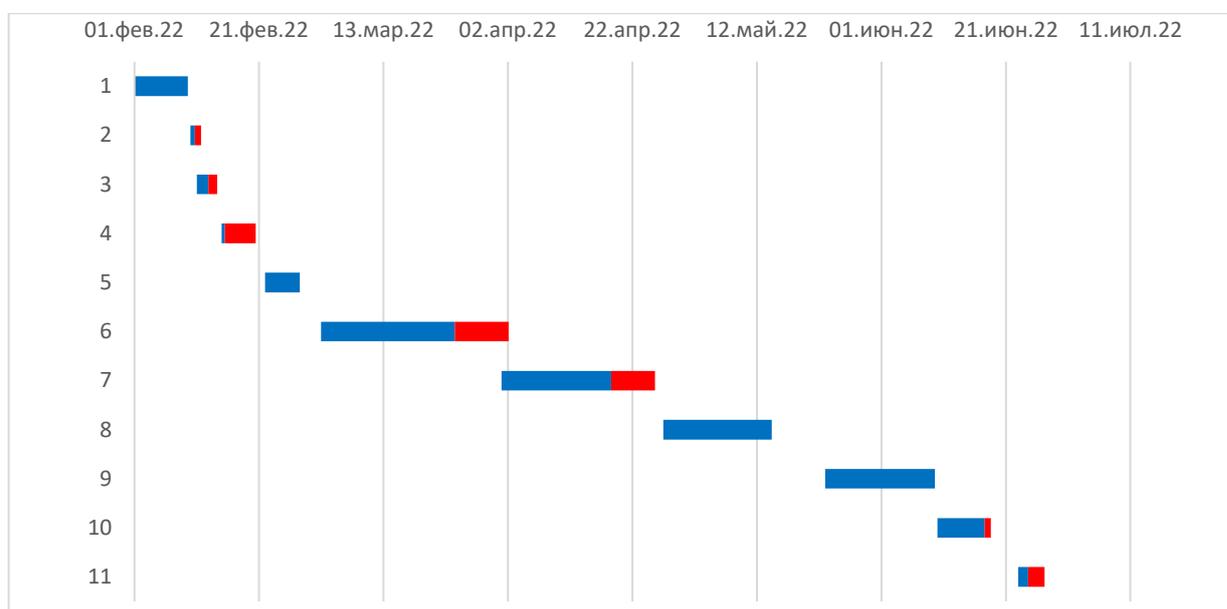
Таблица 18 – Временные показатели проведенного исследования

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям			
					Человеко-дни			
		t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ожж}}$	НР	И	НР	И
1. Подбор и изучение возможных вариантов модернизации	И	7	–	9	–	7,8	–	8,58
2. Выбор варианта модернизации	НР, И	1	1	2	1	1,4	1	0,7
3. Календарное планирование реализации проекта	НР, И	3	1	5	2	3,8	1,4	1,9
4. Составление и утверждение технического задания	НР, И	2	4	2,8	2,8	0,3	5	0,5
5. Подбор и изучение материалов	И	5	–	7	–	5,8	–	5,8
6. Разработка схем автоматизации	НР, И	12	15	13,2	5,81	14,52	8,6	21,49
7. Разработка алгоритмов работы	НР, И	10	12	10,8	4,75	11,88	7,03	17,58
8. Оформление пояснительной записки	И	7	14	9,8	–	11,7	–	17,4
9. Оформление графического материала	И	10	12	10,8	–	11,88	–	17,58

10. Согласование выполненной работы с научным руководителем	НР, И	12	1	20	1	15,2	1	7,6
11. Подведение итогов	2	3	2	3	2,4	2,4	2,64	1,58
Итого				93,4	19,7	86,6	26,6	100,7

На основе таблицы 6 построим диаграмму Ганта. Диаграмма представляет собой план-график, разбитый по месяцам и декадам с указанием выполненных работ. Диаграмма Ганта – линейный график работы представлена таблице 19.

Таблица 19 – Диаграмма Ганта – линейный график работы



3.6 Расчет материальных затрат НТИ

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (18)$$

где:

m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 20.

Таблица 20 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Z_m), руб.
Бумага А3, 80 г/кв.м	Пачка (500 листов)	1	450	540
Картридж для цветного принтера	шт.	2	3000	7200
Картридж для чёрно-белого принтера	шт.	2	1500	3600
Ручка шариковая	шт.	5	15	90
Карандаш	шт.	5	7	42
Итого			11472	

Допустим, что коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы составляет 12 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом коэффициента равны:

$$Z_m = 1,12 \cdot 11472 = 12848,64 \text{ рубля.}$$

3.6.1 Расчет амортизации оборудования

На выполнение исследования дается 5 месяцев. Для выполнения исследования необходим персональный компьютер или ноутбук и многофункциональное устройство (МФУ).

Норма амортизации рассчитывается следующим образом:

$$N = \frac{1}{\text{СПИ}} * 100\%, \quad (19)$$

где:

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

Принимаем срок полезного использования ноутбука равным 3 года, а МФУ равным 2 года. В таблице 21 приведем расчет амортизационных отчислений.

Таблица 21 – Расчет амортизационных отчислений

	Стоимость, руб.	СПИ, лет	Норма амортизации, %	Годовая амортизация, руб.	Ежемесячная амортизация, руб.	Итоговая амортизация, руб.
Ноутбук	60000	3	33,3	19980	1665	8325
МФУ	35000	2	50	17500	1458,3	7291,5
Итого						15616,5

3.6.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 10.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (20)$$

где:

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

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

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, студента) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (21)$$

где:

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 6);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (22)$$

где:

$Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 22.

Таблица 22 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	67	120
Потери рабочего времени на отпуск	56	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	242	221

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{окл}} \cdot k_p, \quad (23)$$

где:

$Z_{\text{окл}}$ – оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,6 (для Сахалина).

Северная надбавка – 50%.

Научный руководитель имеет должность начальник отдела КИПиА и АСУ ТП оклад на весну 2021 года составлял 42000 руб., затем осенью был проиндексирован на 4,3% и составил 43806 руб.

Оклад инженера на весну 2021 года составил 35000 руб., затем осенью был проиндексирован на 4,3% и составил 36505 руб.

Основная заработная плата представлена в таблице 23.

Таблица 23 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_T	$Z_{окл}$, руб.	$k_{р+}$ северная надбавка	Z_M , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	–	–	43806	2,1	91992,6	3877,37	20	77547,4
Инженер	–	–	36505		76660,5	3885,05	87	337999,35
Итого $Z_{осн}$								415546,75

3.6.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (24)$$

где:

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

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 24.

Таблица 24 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{доп}$	$Z_{осн}$	$Z_{доп}$
Научный руководитель	0,12	77547,4	9305,68
Инженер		337999,35	40559,8
Итого			49865,48

3.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (25)$$

где:

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

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

Сумма страховых взносов представлена в таблице 25.

Таблица 25 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	77547,4	337999,35
Дополнительная заработная плата, руб.	9305,68	40559,8
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Сумма отчислений	26055,92	113579,74
Итого	139635,66	

3.6.5 Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} \quad (26)$$

где:

$k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина

коэффициента принимается равной 0,14.

$$\begin{aligned} Z_{накл} &= (12848,64 + 15616,5 + 415546,75 + 49865,48 + 139635,66) \cdot 0,14 \\ &= 88691,82 \end{aligned}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ по форме, приведенной в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	12848,64
2. Затраты на амортизацию оборудования	15616,5
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	415546,75
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	49865,48
5. Отчисления во внебюджетные фонды	139635,66
6. Накладные расходы	88691,82
7. Бюджет затрат НТИ	722204,85

3.7 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования

3.7.1 Определение финансовой эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (таблица 13). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (27)$$

где:

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

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

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

В роли исполнителей будет выступать студент-дипломник (инженер) с научным руководителем, ООО СМНМ, ООО СНГТ.

Проведем расчеты интегрального финансового показателя и заполним таблицу 14.

$$I_{финр}^{студент} = \frac{\Phi_1}{\Phi_{max}} = \frac{722204,85}{850000} = 0,85;$$

$$I_{финр}^{СМНМ} = \frac{\Phi_2}{\Phi_{max}} = \frac{820000}{850000} = 0,96;$$

$$I_{финр}^{СНГТ} = \frac{\Phi_3}{\Phi_{max}} = \frac{850000}{850000} = 1.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля). Расчет интегрального финансового показателя приведен в таблице 27.

Таблица 27 – Расчет интегрального финансового показателя разработки

Исполнитель	Φ_{pi}	Φ_{max}	$I_{финр}^{студент}$	$I_{финр}^{ООО СМНМ}$	$I_{финр}^{ООО СНГТ}$
Инженер с научным руководителем	722204,85	850000	0,85	0,96	1
ООО СМНМ-Вико	820000				
ООО СНГТ	850000				

3.7.2 Определение ресурсоэффективности исследования

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (28)$$

где:

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 28).

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,2.$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 3,8.$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 3,4.$$

Таблица 28 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 Инженер с научным руководителем	Исп.2 ООО СМНМ	Исп.3 ООО СНГТ
Точность	0,2	5	5	5
Надежность	0,1	5	4	5
Быстрота проведения контроля	0,1	5	4	4
Безопасность	0,2	5	4	3
Экологичность	0,1	5	5	3
Простота эксплуатации	0,05	4	5	4
Компактность	0,1	5	5	4
ИТОГО	1	34	32	31

3.7.3 Определение ресурсоэффективности исследования

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп.1}}{I_{финр}}, \quad (29)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблицу 29) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (30)$$

Таблица 29 – Эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1 Инженер с научным руководителем	Исп.2 ООО СМНМ	Исп.3 ООО СНГТ
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,85	0,96	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективной разработки	4,9	3,9	3,4
3	Интегральный показатель эффективности	5,1	4,1	3,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,8	0,66

Вывод по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены:

общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 101 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 27;

2. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 722204,85руб;

3. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

- Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,82, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;

- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,9, по сравнению с 3,9 и 3,4;

Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,1, по сравнению с 4,1 и 3,4, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

4 Социальная ответственность

Введение

Законы об охране здоровья и безопасности распространяются на всех работодателей и работников на их рабочих местах. Безопасность на рабочем месте относится к рабочей среде в компании и включает в себя все факторы, влияющие на безопасность, здоровье и благополучие сотрудников.

Одной из предпосылок высокого уровня безопасности на рабочем месте является эффективная политика безопасности. Политика безопасности – письменный документ, который действует как общее руководство в организации в отношении всех принципов, мер и ценностей, связанных с безопасностью.

В выпускной квалификационной работе рассматривается модернизация системы противоаварийной защиты резервуарного парка хранения сжиженного природного газа на производственном комплексе «Пригородное». Объектом исследования являются резервуары для хранения и отгрузки СПГ. Решения по автоматизации объекта ограничивают контакты между людьми, ускоряют ежедневные технические операции и предотвращают аварийные ситуации и простои.

Работы на данном производственном комплексе представляют потенциальную опасность для людей и окружающей среды. В данном разделе ВКР дается оценка рабочей зоны. Проанализированы вредные и опасные факторы для снижения воздействия на персонал и окружающую среду.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Производственный комплекс работает в режиме непрерывного производства и согласно трудовому кодексу РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред.

от 25.02.2022) [1] необходимо использовать графики сменности. Персонал операторов работает сменами постоянной продолжительности в дневную и ночную смены по 12 часов, обеспечивая непрерывное обслуживание производственного процесса. Применяется график смен из четырех бригад. При переходе со дня в ночь, предоставляется один выходной день. Персонал, занимающийся техническим обслуживанием объекта, работает 40-часовую рабочую неделю. Но для поддержки производства в выходные/праздничные дни и ночное время, со стороны технического обслуживания задействован дежурный персонал, который в случае необходимости, обязан прибыть на объект в течении часа.

Так как объект находится на Дальнем Востоке, то при расчете заработной платы работника добавляется районный коэффициент равный 1,6 и северная надбавка в размере 50 %.

4.2 Производственная безопасность

Как следует из названия, производственная безопасность относится к практике управления безопасностью, применимой к промышленному сектору. Эти процессы направлены на защиту промышленных работников, машин, сооружений и окружающей среды. производственная безопасность контролируется федеральными, государственными и местными законами и правилами.

Производственная безопасность включает широкую область безопасности на рабочем месте, которая охватывает:

- общая безопасность (вопросы и заботы, которые являются общие для всех отраслей);
- специфичные вопросы безопасности на конкретном рабочем месте;
- безопасность процесса и производства;
- безопасность при работе с материалами;

- электробезопасность;
- пожарная безопасность;
- безопасность зданий и сооружений (включая временные установки);
- экологическая безопасность.

При выборе вредных и опасных факторов воспользуемся ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [2]. Перечень вредных и опасных факторов, характерных для выполнения работ на производственной площадке представлен в таблице 30.

Таблица 30 – Вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.	ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений / ГОСТ Р от 08 ноября 2013 г. № 55710-2013 [3].
Повышенный уровень шума.	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [4].
Повышенный уровень общей вибрации.	СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [5].
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего.	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [6].
Электромагнитное излучение.	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» [7].
Электрический ток.	ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [8].
Выбросы газа в атмосферу.	ГОСТ 17.2.3.01-86 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов [9].
Пожар.	ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования [10].

4.2.1 Анализ вредных производственных факторов

4.2.1.1 Освещение

Будь то в промышленных или офисных условиях, правильное освещение делает все рабочие задачи проще и безопаснее. Люди получают около 85 % информации через зрение. Свет выделяет движущиеся механизмы и другие угрозы безопасности. Правильное освещение так же снижает вероятность несчастных случаев и травм из-за «мгновенной слепоты», пока глаза адаптируются к более яркому или темному окружению.

С точки зрения рабочих, плохое освещение на работе может привести к зрительному напряжению, усталости, головным болям, стрессу и несчастным случаям. С другой стороны, слишком много света может также вызвать проблемы с безопасностью и здоровьем, такие как «блики», головные боли и стресс. Все это так же может привести к ошибкам и некачественной работе.

В полевом вспомогательном помещении отсутствует естественное освещение, поэтому применяется искусственное освещение системой общего равномерного освещения. Согласно ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий», освещенность в комнатах с оборудованием должна быть 200 люкс [3].

На территории резервуарного парка достаточное естественное освещение. Так же в темное время суток предусмотрено искусственное освещение по всей территории рабочей зоны.

4.2.1.2 Шум

Шумовое загрязнение представляет собой невидимую опасность. Его нельзя увидеть, но тем не менее он присутствует как на суше, так и под водой. Шумовым загрязнение является любой нежелательный или мешающийся звук, который влияет на здоровье и благополучие людей и других организмов.

Шум на рабочем месте может привести к необратимому повреждению слуха. Это может быть потеря слуха, которая является постепенной из-за воздействия шума с течением времени, но также повреждения, вызванные внезапными, очень громкими звуками.

Потеря слуха – не единственная проблема. У людей может развиваться шум в ушах (звон, свист, жужжание или гудение), неприятное состояние, которое может привести к тревожному сну. Шум на работе может мешать общению и слышать предупреждения. Он также может уменьшить осведомленность людей об их окружении. Эти проблемы могут привести к риску получения травм. Уровень шума в производственных условиях нормируется согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [4].

Сразу отметим, что резервуарный парк хранения СПГ находится в удалении от всех сооружений, производящих высокий уровень шума. Зона резервуарного парка и вспомогательное полевое помещение не является постоянным рабочим местом. Уровень шума на территории низкий. Погружные насосы, согласно документам, имеют низкий уровень шума. А с учетом того, что резервуары находятся на открытом воздухе, то данным вредным фактором можно пренебречь.

Так же стоит отметить, что весь персонал имеет средства защиты органов слуха: защитные наушники и беруши (противошумные вкладыши). В тех местах, где уровень шума превышает нормы (80 дБ) имеются специальные предписывающие знаки «Работать в защитных наушниках» (рисунок 51).



Рисунок 51 – Предписывающий знак «Работать в защитных наушниках»

4.2.1.3 Вибрация

Вибрация – механические колебания твердых тел. Вибрация поступает в организм от той части тела, которая соприкасается с вибрирующим оборудованием. Риск травм, вызванной вибрацией, зависит от среднего дневного воздействия. При оценке риска учитывается интенсивность и частота вибрации, продолжительность воздействия и части тела, которая воспринимает энергию вибрации.

Воздействие реакции на организм может быть общим или местным. Общая вибрация – это когда колебания с рабочего места передаются на все тело человека. Местная (локальная) вибрация – это когда колебания прикладываются к определённому участку тела. На производственных объектах присутствуют оба вида вибрации, которые объединены в термин «производственная вибрация».

Уровень вибрации в производственных условиях регламентируется СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [5]. В таблице 31 приведены допустимые значения и уровни производственной вибрации.

Таблица 31 – Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия	Коррекция	Нормальные эквивалентные скорректированные значения и уровни виброускорения	
				м/с ²	дБ
Локальная		X _n , Y _n , Z _n	W _h	2,0	126
Общая	1	Z _o	W _k	0,56	115
		X _o , Y _o	W _d	0,40	112
	2	Z _o	W _k	0,28	109
		X _o , Y _o	W _d	0,2	106
	3а	Z _o	W _k	0,1	100
		X _o , Y _o	W _d	0,071	97
	3б	Z _o	W _k	0,04	92
		X _o , Y _o	W _d	0,028	89
	3в	Z _o	W _k	0,014	83
		X _o , Y _o	W _d	0,0099	80

Технологическая вибрация относится к вибрации 3 категории, которая воздействует на персонал на рабочих площадках стационарных машин, или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

На установке резервуарного парка хранения сниженного природного газа данным фактором можно пренебречь ввиду того, что вибрация возможна только на участках криогенного трубопровода и присоединённой к ней арматуре. Будем считать, что уровень вибрации не превышает 90 дБ. Погружные насосы находятся внутри резервуара и во время отгрузки не усиливают общую вибрацию резервуара. А если учесть, что на рабочей площадке отсутствует постоянное присутствие работников, а ремонтные работы производятся довольно редко, то можно ограничиться использованием виброизолирующих ботинок, которые включены в стандартный набор средств индивидуальной защиты каждого работника на предприятии.

4.2.1.4 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат – совокупность параметров окружающей среды, влияющих на тепловые ощущения человека: температура, влажность и скорость движения воздуха, и интенсивность теплового излучения окружающих поверхностей.

Микроклимат оказывает существенное влияние на работоспособность, самочувствие и здоровье человека. Необходимость учета параметров микроклимата предопределяется условиями теплового баланса между телом человека и окружающей средой помещений. От этого зависит продуктивная рабочая деятельность, которая повышает производительность труда и так же профилактика заболеваний. Несоблюдение гигиенических норм микроклимата может привести к возрастанию опасности травм на рабочем месте и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

Поэтому согласно СанПиН 1.2.3685-21 [6] должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях, которые показаны в таблице 32.

Таблица 32 – Оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22 – 24	21– 25	40– 60	0,1
Теплый	23 – 25	22 – 26	40– 60	0,1

Так же в целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата необходимо использовать следующее:

- в холодное время года для поддержания температуры в помещении использовать систему отопления;
- в жаркое время года для поддержания температуры в помещении использовать систему кондиционирования воздуха;
- в помещениях, где одновременно находится большое количество персонала должна работать искусственная система вентиляции.

4.3.1 Анализ опасных производственных факторов

4.3.1.1 Электромагнитное излучение

Одним из побочных эффектов работы каждого электрического устройства является электромагнитное поле, возникающее вблизи его рабочего места. Все организмы, в том числе и человек, ежедневно подвергаются воздействию различных видов этого поля, характеризующихся различными физическими параметрами. Поэтому важно точно определить воздействие электромагнитного поля на организмы.

Согласно ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к

проведению контроля» [7], уровни электромагнитных полей на рабочих местах контролируются измерением в диапазоне частот 60 кГц – 300 МГц напряженности электрической и магнитной составляющих, в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц плотности потока энергии электромагнитного поля с учетом времени пребывания персонала в зоне облучения.

Поскольку все оборудование КИПиА, установленное в поле является низковольтным и имеет взрывозащитное исполнение, а контроллерное оборудование установленное в вспомогательном помещении отдельно от электрического помещения, то фон электромагнитного излучения крайне невелик. Поэтому данным фактором можно пренебречь.

4.3.1.2 Поражение электрическим током

Электричество может убить или серьезно ранить людей и причинить материальный ущерб. Тем не менее, мы можем принять простые меры предосторожности при работе с электричеством и электрическим оборудованием или рядом с ним, чтобы значительно снизить риск получения травм.

Для защиты от поражения электрическим током все токоведущие части должны быть заземлены и электротехнический персонал должен использовать индивидуальные средства защиты следуя ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [8].

Защитное заземление – это заземление на устройстве, которое необходимо заземлить, поскольку оно имеет проводящую металлическую оболочку и подключено к сети электропитания. Это заземление отводит любую потенциально опасную утечку в сети или ток короткого замыкания и обычно приводит в действие защитное устройство, отключающее элемент от источника питания.

В ходе модернизации системы в вспомогательном поле в помещении, где находятся контроллеры все части оборудования заземляются (приложение

Х), а также корпус всех полевых устройств заземляется для обеспечения класса взрывозащитного исполнения устройства.

4.3.1.2 Животные и насекомые

На территории объекта зона обитания насекомых и животных, которые могут переносить опасные болезни и передавать их через укус работающему персоналу. К ним относятся:

- слепни могут переносить опасные болезни, потому что питаются кровью других животных;
- лисы, которые могут заразить бешенством;
- клещи могут переносить инфекционные болезни, такие как боррелиоз и энцефалит.

Для снижения этих опасных факторов, достаточно носить стандартные средства индивидуальной защиты, делать сезонные прививки, не подходить и не кормить диких животных.

4.3 Экологическая безопасность

Азот, содержащий следы газообразного углеводорода вентилируется в атмосферу (контролируемы выброс) при продувке загрузочных рукавов перед их присоединением/отсоединением к (от) судна в прерывистом режиме отгрузки. Эти выбросы являются незначительными и не представляют собой опасности для окружающей среды.

Неконтролируемые выбросы материалов, вредных для окружающей среды может иметь место при выходе из строя оборудования или в случае происшествия в ходе выполнения работ по периодическому техническому обслуживанию.

Выпуск давления из резервуаров на факельные сооружения в большинстве случаев можно предупредить. В вариантах, когда этого избежать нельзя из-за экстренных ситуаций на заводе, воздействие на окружающую среду будет незначительным. Стоимость потерянного нефтепродукта в этом случае является более значимым (в сравнении с воздействием на окружающую среду) фактором.

Клапаны сброса давления в резервуарах выведены в атмосферу. Такого рода сброс давления в атмосферу предусмотрен только при катастрофическом развитии событий. Все выбросы в атмосферу контролируются согласно ГОСТ 17.2.3.01-86 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов [9].

СПГ в основном состоит из метана, газообразный метан легче воздуха и поднимается вверх, рассеиваясь в атмосфере в случае утечки СПГ. Остальные компоненты, содержащиеся в СПГ, при этом, тяжелее воздуха и могут скапливаться в низко расположенных зонах.

Рассмотрено воздействие по следующим пунктам:

- селитебная зона – расположение комплекса от ближайшего населенного пункта находится в отдалении более чем на 7 километров;
- воздействие на литосферу – все демонтируемое оборудование утилизируется надлежащим образом;
- воздействие на гидросферу – при контакте с водой СПГ моментально переходит в газообразное состояние. В процессе быстрого фазового перехода высвобождается большое количество энергии, которая может вызвать взрыв, не сопровождающийся горением или химической реакцией;
- воздействие на атмосферу – в случае неконтролируемого выброса воздействие незначительное.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Производственный комплекс является опасным производственным объектом. Перечислим возможные аварийные ситуации, которые могут возникнуть на территории резервуарного парка хранения СПГ:

- разлив СПГ;
- пожар;
- взрыв;
- переполнение резервуара;
- критически высокое/низкое давление внутри резервуара;
- разрушение резервуара.

К наиболее типичным можно отнести разлив СПГ, пожар и взрыв. Во время проектирования комплекса, территория была разделена на взрывоопасные зоны присутствия углеводородов, к которым подбиралось оборудование во взрывозащищенном исполнении. В процессе эксплуатации проводятся инспекции по проверки взрывозащитных оболочек, а также инспекции по коррозионному контролю.

Пожар – это неконтролируемый горения вне специального очага [10]. Пожары на предприятиях и в быту приносят значительный материальный ущерб, поэтому пожарной безопасности уделяют особое внимание.

В качестве профилактики, мер контроля, снижения рисков и ликвидации чрезвычайных происшествий можно отнести следующее:

- система обнаружения и сигнализации пожара, газа, задымления и высокой температуры, работающая в автоматическом режиме;
- система обнаружения утечки в резервуаре;
- оборудование аварийного сброса давления из резервуара;
- предусмотрена система оповещения персонала о ЧС. Система проверяется каждую неделю по всему объекту.
- проведение учебных тренировок по эвакуации персонала с объекта, в соответствии с планом эвакуации (рисунок 52);

- автоматизированная система пожаротушения;
- пожарный расчет из числа сотрудников объекта.

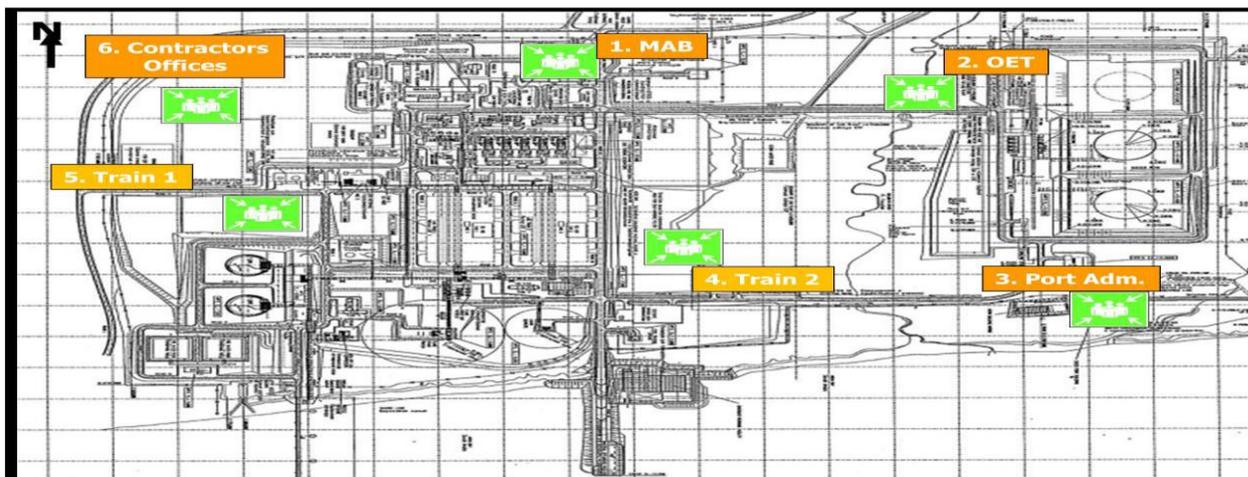


Рисунок 52 – Места сбора во время эвакуации

На объекте существует утвержденная и подписана декларация промышленной безопасности, в которой описаны все вредные и опасные факторы, а также все возможные аварийные и чрезвычайные ситуации и порядок их ликвидации. Модернизация системы противоаварийной защиты не повлияла на возможные опасности возникновения ЧС.

Вывод по разделу социальная ответственность

В данной части работы были рассмотрены вредные и производственные факторы, влияющие здоровье рабочего персонала во время работы на территории резервуарного парка и нормативные документы, которые регулируют их воздействие на работника.

Автоматизированная система на объекте обеспечивает безопасный и надежный режим работы. Полевому оператору не требуется постоянно находиться на территории резервуарного парка для мониторинга технологических параметров, так как контроль происходит дистанционно оператором с центрального пульта управления. В обязанности полевого оператора входит периодический обход территории и поддержка персоналу, который производит техническое обслуживание. Это снижает риски воздействия чрезвычайных ситуаций на персонал.

Во время анализа выяснили, что самым вероятным происшествием на территории резервуарного парка хранения сжиженного природного газа является утечка и пожар. Поэтому предусмотрен комплекс мер для профилактики, снижения рисков и ликвидации аварийных разливов и пожара.

Заключение

В результате проделанной работы был подготовлен проект по модернизации системы противоаварийной защиты, а именно подбор и замена устаревшего контроллера. Также был подобран новый сервер базы данных и рабочие станции операторов.

Выпускная квалификационная работа охватывает обширный круг аспектов автоматизации – технологический процесс резервуарного парка хранения сжиженного природного газа, используемые средства автоматизации, алгоритм пуска/останова погружного насоса и алгоритм сбора данных измерений уровня СПГ в резервуаре, математическое моделирование системы автоматического регулирования давления, разработка различных схем, разработка диаграммы причин и следствий.

При выборе средств автоматизации применялись современные решения, всюду используется цифровая связь, которая дает возможность производить удаленную диагностику и настройку.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были решены основные задачи и достигнуты цели модернизации системы противоаварийной защиты.

В разделах социальной ответственности и финансовый менеджмент был произведен анализ и расчет требуемых параметров.

Список использованных источников

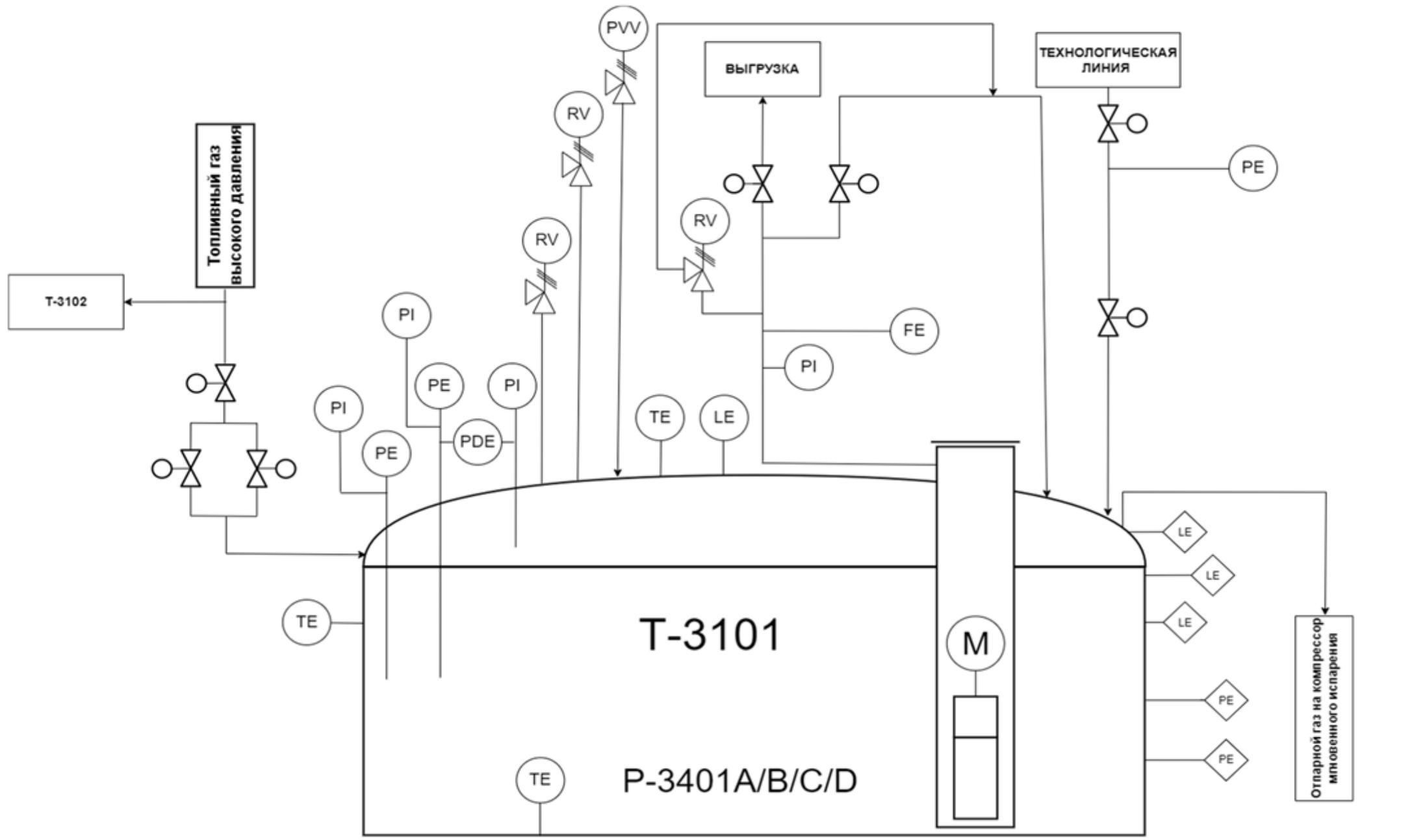
1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022).
2. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
3. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений / ГОСТ Р от 08 ноября 2013 г. № 55710-2013.
4. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
5. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».
6. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
7. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».
8. ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
9. ГОСТ 17.2.3.01-86 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов.
10. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.
11. Воронов В.А. Обеспечение экологической и пожарной безопасности хранения сжиженного природного газа в криогенных резервуарах / В.А. Воронов, Е.А. Любин, Е.Ю. Загороднева / Горный информационно аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S – С. 759-767.
12. Шевчук Е.В. Хранение сжиженного природного газа и проблемы обеспечения промышленной безопасности.

13. Кириллов Н.Г. Сжиженный природный газ: анализ мирового рынка и перспективы отечественного производства / Белозерова Т.Б., Лазарев А.Н., Ярыгин Ю.Н., Дроздов Ю.В. / Журнал «Газохимия». – 2010.
14. Базаров Г.Р. Изучение аппаратов и технологий хранения сжиженных природных газов / Г.Р. Базаров, С.С. Мирзаев, И. Гимранов / Наука, техника и образование. – 2016. – № 2. – С. 28-29.
15. Рахманин А.И. Обеспечение безопасности резервуаров для хранения сжиженного природного газа с учетом негативных эксплуатационных факторов – 2014.
16. Галеев А.Д., Поникаров С.И. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах. / Учебное пособие. Казанский национальный исследовательский технологический университет – 2017.
17. API STD 620. Design and construction of large, welded, low-pressure storage tanks. – 12th ed. – October 2013.
18. Селевцов, Л.И. Автоматизация технологических процессов: Учебник / Л.И. Селевцов. - М.: Academia, 2019. - 160 с.
19. Иванова Е.В. Интегрированные системы проектирования и управления: учебно-методическое пособие / Е.В. Иванова; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТПУ, 2012. — 87 с. – Доступ по логину и паролю.
20. Громаков Е.И. Проектирование автоматизированных систем управления нефтегазовыми производствами: учеб. пособие / Е.И. Громаков, А.В. Лиепиньш. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2019. – 408 с. – Доступ по логину и паролю.
21. Стрижак П.А. Микропроцессорные контроллеры: учебное пособие. Часть 1. Программирование ПЛК / П.А. Стрижак, Д.О. Глушков, Ю.С. Захаревич: Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 159 с. – Доступ по логину и паролю.

22. Андреев Е.Б., Ключников А.И., Кротов А.В., Попадько В.Е., Шарова И.Я. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 399 с.
23. ГОСТ 21.408-93 Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов М.: Издательство стандартов, 1995.– 44с.
24. Громаков Е. И., Проектирование автоматизированных систем. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. — Томск, 2009.
25. Официальный сайт компании Yokogawa.
26. Комиссарчик В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учебное пособие. Тверь 2001.–247 с.
27. СП 240.1311500.2015 Хранилища сжиженного природного газа.
28. А.С. Востриков, Г.А. Французова Теория автоматического регулирования: учебник и практикум для академического бакалавриата – Москва: Изд-во Юрайт, 2017. – 27с.
29. Громаков Е.И. Проектирование автоматических систем управления технологической безопасностью: учеб. пособие / Е.И. Громаков, А.Г. Зебзеев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 170 с. – Доступ по логину и паролю.
30. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учеб. пособие: / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007 – Ч. 8. – 2014. – 648 с. – Доступ по логину и паролю.
31. Средства автоматизации и управления: конспект лекций / сост. В.В. Михайлов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 99 с. – Доступ по логину и паролю.

32. Шишмарёв, Владимир Юрьевич. Ш65. Основы автоматизации технологических процессов: учебник / В.Ю. Шишмарёв. — Москва: КНОРУС, 2019. — 28 страниц.
33. Разработка графических решений проектов СДКУ с учетом требований промышленной эргономики. Альбом типовых экранных форм СДКУ. ОАО «АК Транснефть». — 197 с.
34. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа, Андреев Е.Б., Ключников А.И., Кротов А.В., Попадько В.Е., Шарова И.Я., 2008.
35. А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе, д. А. Чмырь. Автоматизация управления жизненным циклом продукции. учебник. — Москва: Издательский центр «Академия» 2013. — 14 страниц.
36. Sheila Crisologo, LNG Facilities. - January 2010. - Dräger Safety AG & Co. KGaA".
37. Nishizaki, T., Largest aboveground PC LNG Storage Tank in the World, incorporating the latest technology-construction cost reduction and shortening of work period by employing new construction methods.
38. [Электронный ресурс]www.neftegaz.ru.
39. [Электронный ресурс] <https://studbooks.net>. Хранилища СПГ.

Приложение А
(обязательное)
Общая функциональная схема резервуара



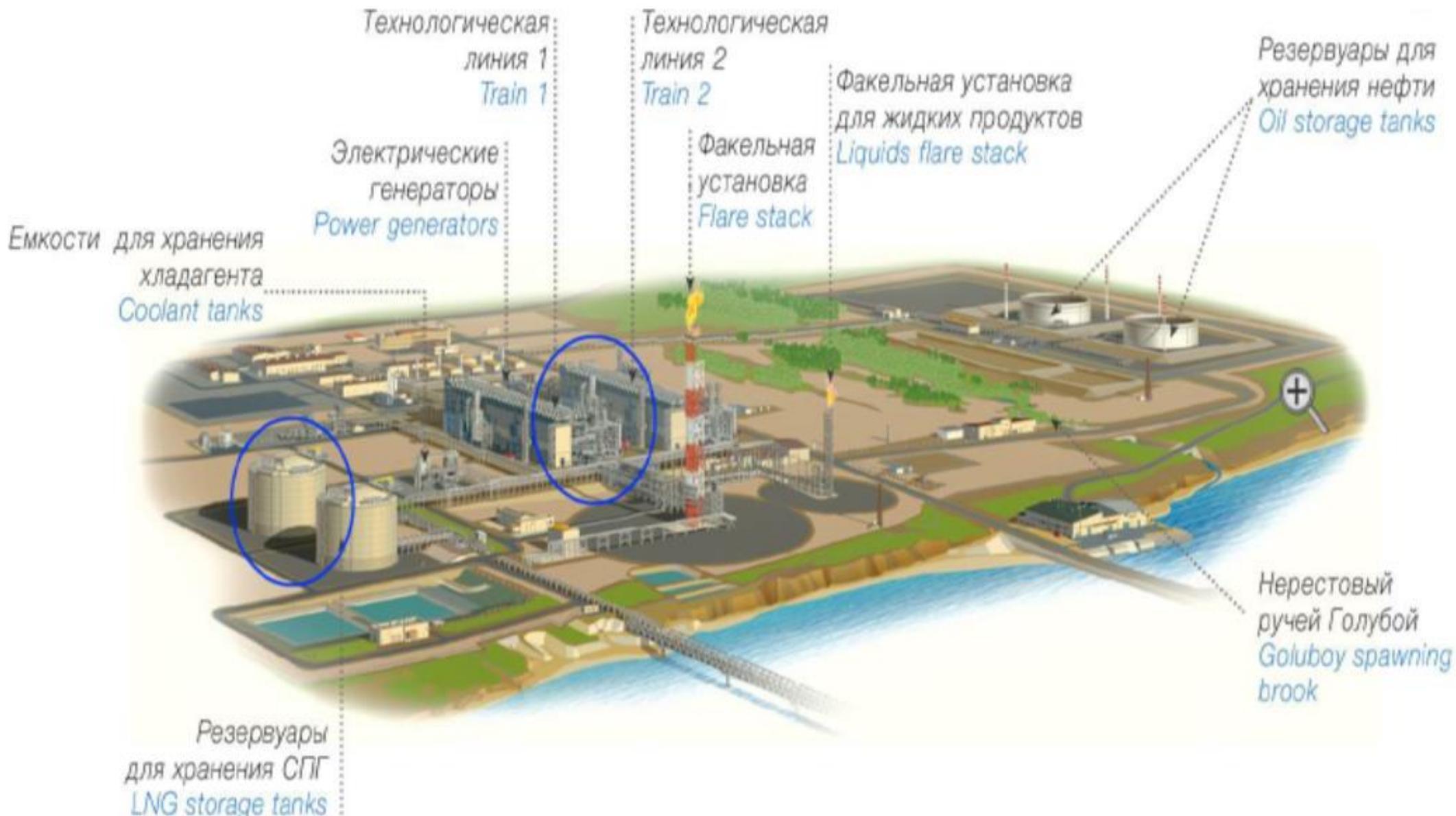
Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Росляков М		
Пров.	Семенов Н М		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			

ФЮРА. 425280.001.ЭС.01

Общая функциональная схема резервуара

Лит.	Масса	Масштаб
У		
ТПУ САРИЦИТР Группа 3-8Т71		

Приложение Б
(справочное)
План производственного комплекса Пригородное



Приложение В
(справочное)
План терминала отгрузки нефти

Выносное причальное устройство
Tanker loading unit



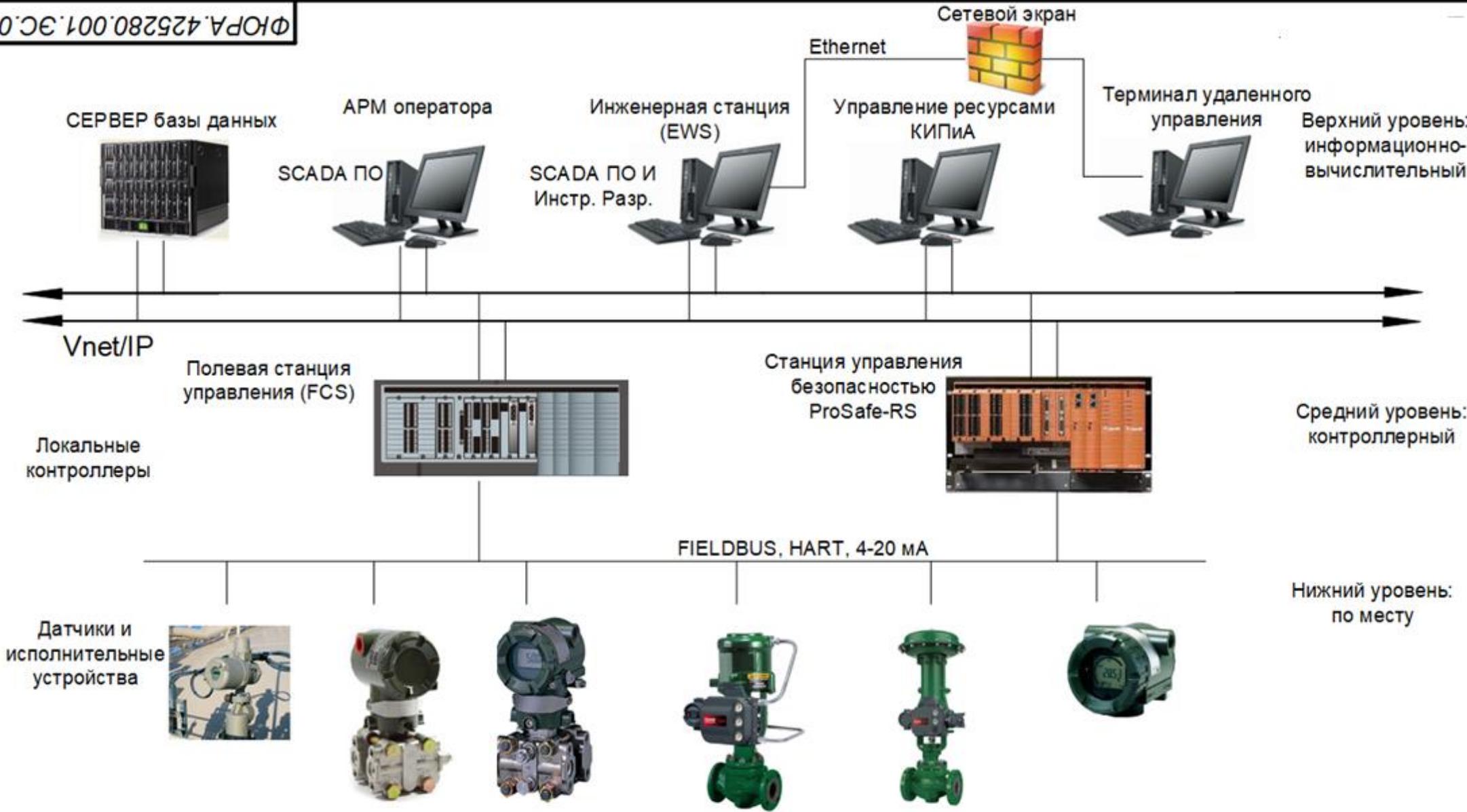
Резервуары для хранения нефти
Oil storage tanks



Терминал отгрузки нефти (ТОН) состоит из резервуаров для хранения нефти, отгрузочного трубопровода и выносного причального устройства (ВПУ) для загрузки танкеров.

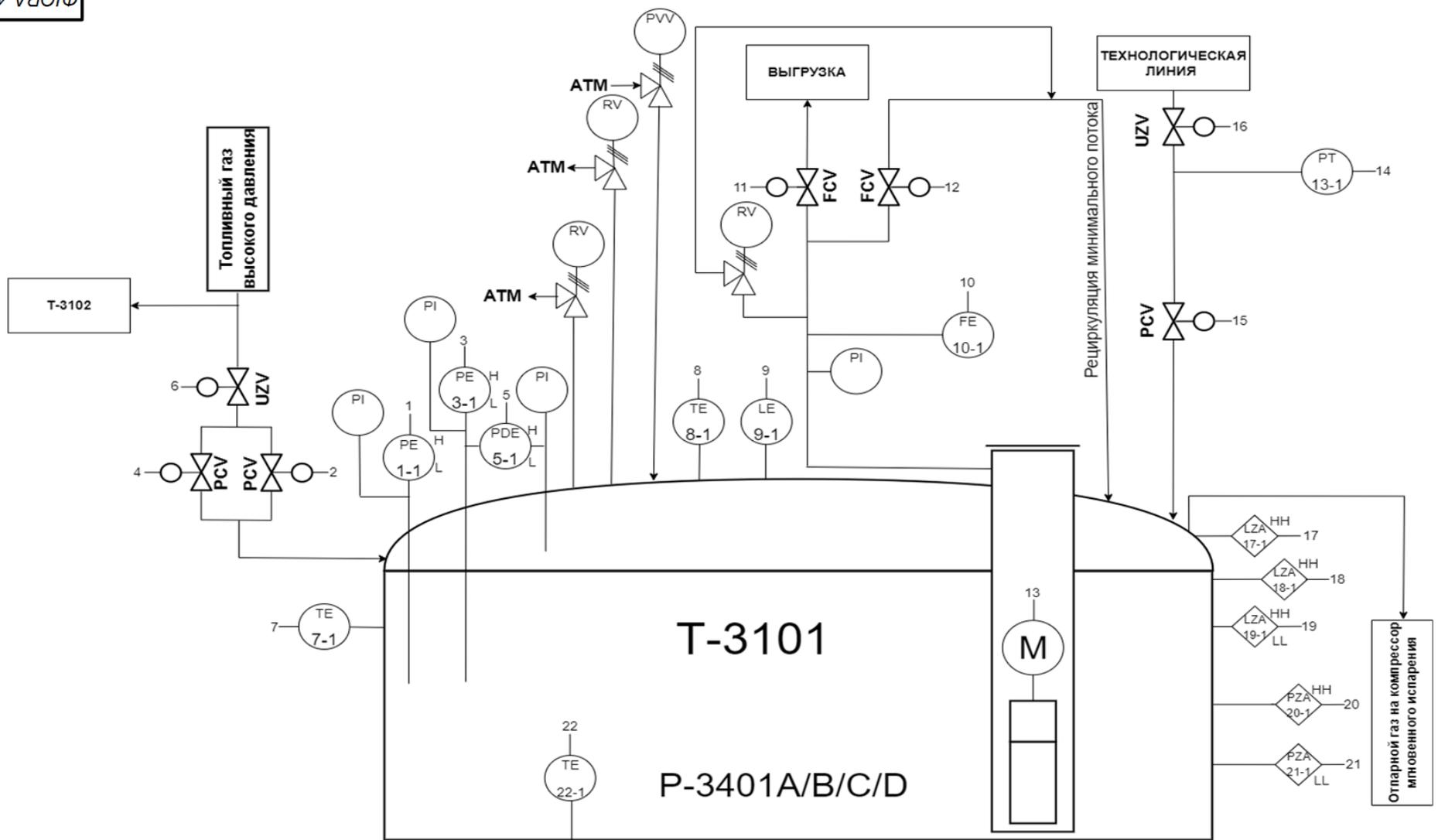
The oil export terminal (OET) consists of oil storage tanks, an export pipeline and a tanker loading unit (TLU).

Приложение Г
(обязательное)
Трехуровневая структурная схема АС



ФЮРА. 425280.001.ЭС.02				
	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.		Росляков М		
Пров.		Семенов Н.М		
Т.контр				
Н.контр				
Утв.				
Трехуровневая структурная схема АС				Лит. Масса Масштаб
				у
				ТПУ ОАРИШИТР Группа 3-8Т71

Приложение Д
(обязательное)
Функциональная схема автоматизации



По месту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
Местная панель оператора	PA 1-3	PA 3-3	FDA 5-3	FA 10-3	LA 17-3	LA 18-3	LA 19-3	PA 20-3	PA 21-3	LL 21-3	LA 17-2	LA 18-2	LA 19-2	LA 17-1	LA 18-1	LA 19-1	LA 20-1	LA 21-1	LA 17-1	LA 18-1	LA 19-1	LA 20-1	LA 21-1	
Щаф автоматизации	PC 1-4	PC 3-4	UZ 6-2	TR 7-3	TR 8-3	LR 9-3	FC 10-4	GBS 12-1	HS 13-1	PC 14-4	UZ 16-2	LR 17-4	UZ 18-4	UZ 19-4	LR 19-5	UZ 20-4	UZ 21-4	TR 22-3	UZ 17-1	UZ 18-1	UZ 19-1	UZ 20-1	UZ 21-1	
SCADA	Мониторинг	Регистрация	Управление	Сигнализация																				

Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Росляков М		
Пров.	Семенов Н.М		
Т.контр			
Н.контр			
Утв.			

ФЮРА. 425280.001.ЭС.03

Функциональная схема автоматизации

Лит.	Масса	Масштаб
у		
ТГУ ОАРИШТР Группа 3-8Т71		

Приложение Е
(справочное)
Перечень входных/выходных сигналов

№	Наименование сигнала	Номер тега	Идентификатор сигнала	Диапазон измерения	Единица измерения	Тип сигнала	Технологические уставки			
							Предупредительные		Аварийные	
							min	max	min	max
Резервуар Т-3101										
Входные сигналы нижнего уровня										
1	Первичное регулирование низкого/высокого давления внутреннего резервуара	PCA-152	INN_TNK_PRES_CONT_LH_PRI	0÷19	кПА	Fieldbus	2,5	4,8	-	-
2	Вторичное регулирование низкого/высокого давления внутреннего резервуара	PCA-154	INN_TNK_PRES_CONT_LH_SEC	0÷19	кПА	Fieldbus	2,5	4,8	-	-
3	Регулирование давления продукта в резервуар из технологической линии 1/2	PC-115	TR1/2_PROD_TO_TNK_CONT	0÷1,8	МПА	Fieldbus	-	-	-	-
4	Предельно низкое давление во внутреннем резервуаре	PZA-157	INN_TNK_PRES_LL	0÷19	кПа	4÷20 мА (HART)	-	-	0,5	-
5	Предельно высокое давление во внутреннем резервуаре	PZA-158	INN_TNK_PRES_HH	0÷19	кПА	4÷20 мА (HART)	-	-	-	12
6	Перепад давления между внутренним и внешним резервуаром	PDA-155	INN/OUT_TNK_DP	-6÷6	кПА	Fieldbus	-1	0,4	-	-
7	Предельно низкий/высокий уровень в резервуаре	LZA-151	TNK_LVL_LL_HH	0÷34220	мм	4÷20 мА	-	-	1500	33250
8	Первичный уровень продукта в резервуаре	LRA-151	TNK_PROD_LVL_PRI	0÷34220	мм	4÷20 мА	1700	33050	-	-
9	Первичный предельно высокий уровень в резервуаре	LZA-152	TNK_LVL_HH_PRI	0÷34220	мм	4÷20 мА	-	-	-	33250
10	Вторичный уровень продукта в резервуаре	LRA-152	TNK_PROD_LVL_SEC	0÷34220	мм	4÷20 мА	1700	33050	-	-
11	Вторичный предельно высокий уровень в резервуаре	LZA-153	TNK_LVL_HH_SEC	32650÷33450	мм	4÷20 мА	-	-	-	33250
12	Уровень в резервуаре	LR-154	TNK_LVL	0÷100	%	4÷20 мА	-	-	-	-
13	Нагнетание отгрузочного насоса	FC-112	PUMP_DISCH	0÷1583	м³/ч	Fieldbus	-	-	-	-
14	Низкая рециркуляции минимального потока отгрузочного насоса	FCA-111	PUMP_MIN_FLOW_L	0÷1583	м³/ч	Fieldbus	500	-	-	-
15	Мощность двигателя отгрузочного насоса	ER-111	PUMP_MOTOR_POWER	0÷500	кВт	AI	-/-	-/-	-/-	-/-
16	Температура во внешнем резервуаре	TR-151	TEMP_OUT_TNK	-170÷30	°C	Fieldbus	-	-	-	-
17	Температура во внутреннем резервуаре	TR-152	TEMP_INN_TNK	-170÷30	°C	Fieldbus	-	-	-	-
18	Температура в нижней части внутреннего резервуара	TR-165	TEMP_INN_TNK_BTM	-170÷30	°C	Fieldbus	-	-	-	-
19	Концевой выключатель положения клапана рециркуляции мин. потока	GBS-112	LMS_OPEN_CLOSE_MIN_FLOW	-/-	-/-	DI	-/-	-/-	-/-	-/-
Выходные сигналы контроллера к исполнительным устройствам										
20	Клапан регулировки расхода рециркуляции минимального потока	FCV-111	FLOW_CONT_VLV_MIN_FLOW	-/-	-/-	Fieldbus	-/-	-/-	-/-	-/-
21	Клапан регулировки расхода на выходе отгрузочного насоса	FCV-112	FLOW_CONT_VLV_PUMP_DISCH	-/-	-/-	Fieldbus	-/-	-/-	-/-	-/-
22	Первичный клапан регулировки давления топливного газа ВД	PCV-152	PRES_CONT_VLV_HPGF_PRI	-/-	-/-	Fieldbus	-/-	-/-	-/-	-/-
23	Вторичный клапан регулировки давления топливного газа ВД	PCV-154	PRES_CONT_VLV_HPGF_SEC	-/-	-/-	Fieldbus	-/-	-/-	-/-	-/-
24	Клапан регулировки давления СПГ в резервуар	PCV-115	PRES_CONT_VLV_LNG_TO_TNK	-/-	-/-	Fieldbus	-/-	-/-	-/-	-/-
25	Клапан отсечки подачи СПГ в резервуар	UZV-101	UZ_VLV_LNG_TO_TNK	-/-	-/-	DO	-/-	-/-	-/-	-/-
26	Клапан отсечки подачи топливного газа ВД в резервуар	UZV-103	UZ_VLV_HPGF_TO_TNK	-/-	-/-	DO	-/-	-/-	-/-	-/-
27	Отгрузочный насос включить/отключить	HS-111	PUMP_START/STOP	-/-	-/-	DO	-/-	-/-	-/-	-/-

Приложение Ж (справочное)

Основные технические характеристики уровнемера Honeywell ENRAF 854 ATG

Технические спецификации

Измерения

Диапазон измерений	: Стандартно 27 м (88 фут) Опционально 37 м (121 фут) 35 м (115 фут) (с измерительной проволокой до 150 м (492 фут))
Точность измерения уровня	: $\pm 0,4$ мм ($\pm 0,016$ ") ¹⁾
Точность измерения разд. фаз	: ± 2 мм ($\pm 0,08$ ") ²⁾
Точность измерения плотности	: ± 3 кг/м ³ ($\pm 0,19$ фунт/фут ³) ³⁾
Точность измерения температур	: $\pm 0,1$ °C ($\pm 0,18$ °F) ^{1) 4)}
Чувствительность	: $\pm 0,1$ мм ($\pm 0,004$ ") ¹⁾
Повторяемость	: $\pm 0,1$ мм ($\pm 0,004$ ") ¹⁾
Время интеграции волны	: Программируется, три точки установки от 0,5 с до 10 с

Механическая часть

Фланец	: См. "Код заказа", Поз.9, 10
Размеры	: См. последнюю страницу
Вес	: Версия для нормального давления (M) 16 кг (35 фунтов) Версия для химически агрессивных сред (C) 21 кг (46 фунтов) Версия для высокого давления (H) 26 кг (57 фунтов)
Отверст. под кабельн. ввод	: 4 шт. ¾" резьба NPT

Окружающая среда

Рабочее давление	: Версии M и C : до 6 бар / 0,6 МПа (90 пси) Версия H : до 40 бар / 4 МПа (600 пси) (до 25 бар / 2,5 МПа в соотв. с PED)
Температура окр. среды	: от -40 °C до +65 °C (от -40 °F до +149 °F)
Класс защиты	: IP 65 в соответствии с EN 60529 (NEMA 4)
Безопасность	: Взрывозащищенный - II 1/2 G Ex d IIB T6 Ga/Gb или II 1/2G Ex de IIB T6 Ga/Gb или II 1/2 G Ex d [ia Ga] IIB T6 Ga/Gb или II 1/2G Ex de [ia Ga] IIB T6 Ga/Gb; в соотв. с KEMA 01ATEX2092 X, сертифицирован KEMA, Нидерланды - Ex d [ia Ga] IIB T6 Ga/Gb или Ex de [ia Ga] IIB T6 Ga/Gb; в соотв. с IECEx KEM 10.0007X, сертифицирован KEMA, Нидерланды - Class I, Division 1, Groups B, C & D в соотв. с ANSI/NFPA no. 70, сертифицирован Factory Mutual Research США (FM no.: 3Q2A9.AX)
Корпус	: Литой алюминиевый AA A356 EN1706 AC-AISI7Mg0,3
Отсек барабана	: версия M литой алюминиевый AA A356 EN1706 AC-AISI7Mg0,3 версии C и H нержавеющая сталь ASTM A351, CF-8M, G-X6 CrNiMo 18 10 (1.4408)
Покрытие алюмин. деталей	: Хромированный согласно MIL-C-5541C
Измерит. барабан и вал	: Нержавеющая сталь (1.4401) EN10088, AISI 316
Измерительная проволока	: См. "Код заказа", Поз.12
Магнитная муфта	: Нержавеющая сталь (1.3953)
Кольцевые уплотнения	: Крышка барабана - Силикон / FEP (другие NBR 70)

Электрическая часть

Напряжение питания	: 110/130/220 В (от +10% до -20%) и 230 В ($\pm 15\%$), опционально 65 В (от +10% до -20%), также подходит для 240 В (от +10% до -20%)
Частота	: от 50 Гц до 60 Гц ($\pm 10\%$)
Мощность	: 25 ВА, $I_{\text{макс}} = 2$ А

Передача данных

Тип	: Последовательный порт, ASCII-код, интерфейс BI-Phase Mark (BPM)
Напряжение изоляции	: > 1500 В
Молниезащита	: Полная гальваническая развязка через изолирующие трансформаторы
Протокол	: Стандартная полевая шина Enraf (протокол GPU)
Подавл. синфазного сигнала	: > 150 дБ
Кабельная проводка	: Двухпроводная витая пара, $R_{\text{макс}} = 200$ Ом / линия, $C_{\text{макс}} = 1$ мкФ
Обмен данными с портативным терминалом Enraf (PET)	: Инфракрасный порт, последовательный

Опции

Релейные выходы сигнализац.	: 2x SPDT, гальванически развязаны, $V_{\text{макс}} = 50$ В (перем ток) или 75В (пост ток), $I_{\text{макс}} = 3$ А
Измерение плотности	: см. "Код заказа", Позицию 15 (с дисплейсером для измерения плотности)
Аналоговый выход (уровень)	: 4 - 20 мА (точность $\pm 0,1\%$ по всей шкале)
Платы входов	: Точечный ТС, датчики VITO для измерения средней температуры и/или уровня подтоварной воды, HART устройства
Передача данных	: Стандартный Modbus через RS-232C или RS-485 искробезопасная передача данных на резервуарный индикатор (TSI)
Кабельные вводы	: Доступны переходники для установки кабельных вводов других размеров

HART® это торговая марка организации HART Communications Foundation,
Foundation Fieldbus® это торговая марка Fieldbus Foundation,

¹⁾ При стандартных условиях

²⁾ При разности плотностей продуктов 100 кг/м³ (6,25 фунт/фут³)

³⁾ (опционально) с дисплейсером для измерения плотности и калибровке для измерения плотности

⁴⁾ с температурным датчиком VITO

Приложение 3 (справочное)

Основные технические характеристики преобразователя избыточного давления Yokogawa EJA430A

Технические Характеристики

Модель EJA430A
Датчик избыточного давления

DP *Sharp*

GS 01C21E01-00R

Датчик избыточного давления модели EJA430A предназначен для измерения давления жидкости, газа или пара. Его выходной сигнал 4 - 20 мА постоянного тока соответствует величине измеренного давления. Модель EJA430A позволяет осуществлять дистанционный контроль и установку параметров посредством цифровой связи с BRAIN или HART®275 коммуникатором и хост-компьютерами CENTUM CS™, µXL™.

■ СТАНДАРТНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Касательно датчика с протоколом цифровой связи Fieldbus см. GS 01C22T02-E.

□ РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Калиброванная шкала с отсчётом от нуля, линейный выход, код "S" для материала частей, контактирующих с рабочей средой, заполнение капсулы силиконовым маслом.

Базовая точность калиброванной шкалы

(включая влияние нелинейности, гистерезиса и повторяемости)

±0.075% от шкалы

Для шкал меньших, чем X

± [0.025+0.05 $\frac{X}{\text{Шкала}}$] % от шкалы

где X равно:

Капсула X МПа {psi}

A 0.3 {43}

B 1.4 {200}

Влияние температуры окружающей среды

Общее влияние при изменении температуры на 28°C (50°F)

± [0.084% от шкалы+0.017% ВПИ]

Стабильность (M, H, V капсулы)

±0.1% от ВПИ в течение 60 месяцев

Влияние напряжения питания "◇"

±0.005 на Вольт (от 21.6 до 32 В пост. тока, 350 Ом).

□ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Предельные значения шкалы и диапазона

Шкала (Ш) и диапазон измерения (ДИ)	МПа	psi (I/D1)	бар (I/D3)	кгс/см ² (I/D4)
A	Ш	0.03...3	4.3...430	0.3...30
	ДИ	-0.1...3	-15...430	-1...30
B	Ш	0.14...14	20...2000	1.4...140
	ДИ	-0.1...14	-15...2000	-1...140

ВПИ – верхний предел диапазона измерения, см. таблицу выше.



Смещение нуля

Нуль может быть смещен вниз или вверх по шкале в пределах диапазона измерения капсулы.

Внешняя регулировка нуля «◇»

Внешняя регулировка нуля может осуществляться плавно с дискретностью 0,01% от шкалы.

Установка шкалы может выполняться по месту с помощью встроенного ЖК индикатора с переключателем диапазона.

Влияние положения при монтаже

Вращение в плоскости диафрагмы не оказывает влияния. Наклон на 90° вызывает сдвиг нуля до 0.4 кПа {1.6 inH₂O}, который может быть устранен подстройкой нуля.

Выходной сигнал «◇»

2-х проводной выходной сигнал 4...20 мА DC с цифровой связью по BRAIN или HART протоколу. Цифровой сигнал накладывается на аналоговый сигнал 4...20 мА.

Сигнализация о неисправности

При отказе микропроцессора или аппаратных средств:

Выход за верхнее значение шкалы:

110%, 21.6 мА DC или более (стандартно)

Выход за нижнее значение шкалы:

-5%, 3.2 мА DC или менее

Примечание: для выходного сигнала с кодом D и E.

Постоянная времени демпфирования (1-го порядка)

Равна суммарному значению постоянной времени демпфирования усилителя и капсулы. Постоянная времени демпфирования усилителя может быть задана в пределах от 0,2 до 64 с.

Капсула (силиконовое масло)	A	B
Постоянная времени демпфирования (прибл. значение, сек.)	0,2	0,2

Допустимая температура окружающей среды:

(коды, разрешающие применение в опасной зоне, могут влиять на указанные пределы)

-40...85°C (-40...185°F)

-30...80°C (-22...176°F) с ЖК-дисплеем

Приложение И (справочное)

Основные технические характеристики преобразователя дифференциального давления Yokogawa EJA110A

Технические Характеристики

Датчик перепада давления Модель EJA110A

GS 01C21B01-00R

Датчик дифференциального давления модели EJA110A предназначен для измерения расхода жидкости, газа или пара, а также может быть использован для измерения уровня, плотности и давления. Его выходной сигнал 4 - 20 мА постоянного тока соответствует величине измеренного дифференциального давления. Модель EJA110A позволяет осуществлять дистанционный контроль и установку параметров посредством цифровой связи с BRAIN-коммуникатором и хост-компьютерами CENTUM CS™, μ XL™ или HART® 275.

■ СТАНДАРТНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Указания по типам связи FOUNDATION Fieldbus и PROFIBUS PA, отмеченным значком «◇», смотрите соответственно в документах IM 01C22T02-00E и IM 01C22T03-00E.

□ РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Калиброванная шкала с отсчётом от нуля, линейный выход, код "S" для материала частей, контактирующих с рабочей средой, заполнение капсулы силиконовым маслом.

Базовая точность калиброванной шкалы

(включая влияние нелинейности, гистерезиса и повторяемости)

$\pm 0,065\%$ от шкалы

Для шкал меньших, чем X

$\pm [0,015 + 0,05 \frac{X}{\text{Шкала}}]\%$ от шкалы

где X равно:

Капсула	X кПа {дюймов в.ст.}
L	3 {12}
M	10 {40}
H	100 {400}
V	1,4 МПа {200 фунтов на кв. дюйм}

Точность выходного сигнала с извлечением кв. корня

Точность выхода с извлечением кв. корня, выраженная в процентах от шкалы расхода.

Выход	Точность
50% и выше	совпадает с базовой точностью
От 50% до точки отсечки	базовая точность $\times 50$ выход с извлечением $\sqrt{\quad}$ (%)

Влияние температуры окружающей среды

Общее влияние при изменении температуры на 28°C (50°F)

Капсула	Погрешность
L	$\pm [0,08\%$ от шкалы $+0,09\%$ ВПИ]
M	$\pm [0,07\%$ от шкалы $+0,02\%$ ВПИ]
H	$\pm [0,07\%$ от шкалы $+0,015\%$ ВПИ]
V	$\pm [0,07\%$ от шкалы $+0,03\%$ ВПИ]



Влияние статического давления

Общее влияние при его изменении

Капсула L

$\pm [0,07\%$ от шкалы $+0,052\%$ ВПИ] на 3,4 МПа {500 фунтов на кв. дюйм}

Капсулы V, H и V

$\pm [0,1\%$ от шкалы $+0,028\%$ ВПИ] на 6,9 МПа {1000 фунтов на кв. дюйм}

Сдвиг нуля (может быть скорректирован при рабочем давлении)

Капсула L

$\pm [0,02\%$ от шкалы $+0,052\%$ ВПИ] на 3,4 МПа {500 фунтов на кв. дюйм}

Капсулы M, H и V

$\pm 0,028\%$ от ВПИ на 6,9 МПа {1000 фунтов на кв. дюйм}

Влияние перегрузки по давлению (капсулы M, H, V)

$\pm 0,03\%$ от ВПИ на 16 МПа {2300 фунтов на кв. дюйм}

Стабильность

$\pm 0,1\%$ от ВПИ в течение 60 месяцев (капсулы M, H, V)

$\pm 0,2\%$ от ВПИ в течение 12 месяцев (капсула L)

Влияние напряжения питания "◇"

$\pm 0,005$ на Вольт (от 21,6 до 32 В пост. тока, 350 Ом).

□ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Предельные значения шкалы и диапазона

Шкала (Ш) и диапазон измерения (ДИ)		кПа	дюймы в. ст. (D1)	мбар (D3)	мм в. ст. (D4)
L	Ш	0,5...10	2...40	5...100	50...1000
	ДИ	-10...10	-40...40	-100...100	-1000...1000
M	Ш	1...100	4...400	10...1000	100...10000
	ДИ	-100...100	-400...400	-1000...1000	-10000...10000
H	Ш	5...500	20...2000	50...5000	0,05...5 кгс/см ²
	ДИ	-500...500	-2000...2000	-5000...5000	-5...5 кгс/см ²
V ¹	Ш	0,14...14 МПа	20...2000 фунтов на кв. дюйм	1,4...140 бар	1,4...140 кгс/см ²
	ДИ	-0,5...14 МПа	-71...2000 фунтов на кв. дюйм	-5...140 бар	-5...140 кгс/см ²

*1: Для кода материала частей, контактирующих со средой, отличного от "S", диапазон равен 0...14 МПа, 0...2000 фунтов на кв. дюйм, 0...140 бар, 0...140 кгс/см².

ВПИ – верхний предел диапазона измерения, см. таблицу выше.

Приложение К
(справочное)
(Основные технические характеристики преобразователя температуры
Yokogawa YTA-320)

Технические Характеристики

Преобразователь температуры
Модели YTA310, YTA320

YTA SERIES

(Исполнение: S3)

GS 01C50B02-00R

Приборы YTA310 и YTA320 представляют собой высокоточные измерительные преобразователи температуры, принимающие входные сигналы от термопар, термометров сопротивления, омических или милливольтовых устройств пост. тока и преобразующие их для передачи в виде сигнала 4... 20 мА постоянного тока. Прибор YTA310 является моделью с одним входным сигналом датчика, а прибор YTA320 является моделью с двумя входными сигналами. Обе модели поддерживают протокол связи BRAIN или HART®, а YTA320 также поддерживает протокол связи FOUNDATION Fieldbus.

В стандартной конфигурации преобразователи температуры YTA310/320, кроме версии с протоколом связи Fieldbus, сертифицированы TÜV, как удовлетворяющие требованиям безопасности SIL 2.

Технические требования к протоколу связи Fieldbus, которые обозначаются символом "◇", приведены в документе GS 01C50T02-R.



Тип обмена данными – связь по шине Fieldbus:
Погрешность АЦП
(См. табл.1 на стр. 3).

Погрешность компенсации холодного спая
(Только для термопар)
 $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,9^{\circ}\text{F}$)

Влияние температуры окружающей среды
Тип обмена данными - BRAIN, HART:
Сумма температурных коэффициентов АЦП и ЦАП.
(См. табл. 2 на стр. 4).
Тип обмена данными – шина оборудования Fieldbus:
Температурный коэффициент АЦП. (См. табл. 2 на стр. 4).

Стабильность
Термометр сопротивления (RTD):
 $\pm 0,1\%$ от показаний или $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ за каждые 2 года,
наибольшее из этих значений при $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.
Термопара (Т/С):
 $\pm 0,1\%$ от показаний или $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ за каждые 2 года,
наибольшее из этих значений при $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

5 летняя стабильность
Термометр сопротивления (RTD):
 $\pm 0,2\%$ от показаний или $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$,
наибольшее из этих значений при $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.
Термопара (Т/С):
 $\pm 0,4\%$ от показаний или $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$,
наибольшее из этих значений при $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Влияние вибрации
10... 60 Гц: пиковое смещение 0,21 мм
60... 2000 Гц: 3G

Влияние радиочастотных помех
Измеряется по стандарту EN 50082-2.
Интенсивность поля до 10 В/м.

Влияние напряжения питания
 $\pm 0,005\%$ от калиброванной шкалы (интервала измерений) на 1 Вольт.

Влияние положения
Нет

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Входной сигнал
YTA310: один входной сигнал, YTA320: два входных сигнала.
Выбираются из следующих типов: от термопар, 2-, 3- и 4-проводных термометров сопротивления, омических или милливольтовых устройств пост. тока.
См. табл. 1 на стр. 3.

Предельные значения шкалы и диапазона измерений
См. табл. 1 на стр. 3.

■ ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Выдающиеся рабочие характеристики

Основанные на микропроцессорной технике измерения гарантируют высокую точность и надежность.

Высокая надежность

Двухсекционный корпус обладает высокой устойчивостью к жестким условиям окружающей среды и YTA310/320 удовлетворяет требованиям безопасности уровня SIL2.

Разнообразие измерительных входных сигналов

Тип измерительного входного сигнала выбирается пользователем (от термопар (ТП), термометров сопротивления (ТС), омических или милливольтовых устройств пост. тока).

Цифровая связь

Возможно использование протокола связи BRAIN или HART®. Используя коммуникатор BT200 или HART®, пользователь может изменять конфигурацию прибора.

Функция самодиагностики

Возможность непрерывной самодиагностики гарантирует длительное сохранение рабочих характеристик и низкие эксплуатационные затраты.

ЖК-дисплей с линейным индикатором

Жидкокристаллический дисплей обеспечивает цифровую индикацию и является одновременно процентным линейным индикатором.

Два универсальных входа (модель YTA320)

Прибор YTA320 может принимать два входных сигнала от термопар, термометров сопротивления, омических или милливольтовых устройств пост. тока. Может быть выбрано измерение дифференциальной или средней температуры. Функция резервирования датчика производит автоматическое переключение с главного на резервный датчик в случае неисправности датчика.

■ СТАНДАРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Погрешность

Тип обмена данными - BRAIN, HART:
Погрешность АЦП / Шкала (интервал измерений) +
Погрешность ЦАП
(См. табл.1 на стр. 3).

Приложение Л
(справочное)

Основные характеристики блока управления полевыми устройствами и
модуля связи

General Specifications

Models AFF50S, AFF50D
Field Control Unit
Duplexed Field Control Unit
(for FIO, 19" Rack Mountable Type)

GS 33Q06N05-31E

■ GENERAL

This GS covers the hardware specifications of the Field Control Unit (FCU) which is the processor of the Field Control Station (FCS).

■ HARDWARE SPECIFICATIONS

For the installation specifications and the environmental conditions common to the systems, refer to "System Overview (GS 33Q01B10-31E)."

Processor

VR5432 (133 MHz)

Main Memory Capacity

32 Mbyte

Memory Protection During Power Failure

Battery

Battery Back-up for Main Memory: Max. 72 hours

Battery Recharge Time: Min. 48 hours

FCU Status Contact Output

2 terminals (NC, C)

Contact Points open during FCU failure

Contact Rating: 30 V DC, max. 0.3 A

Communication Interface

V net Interface: Dual-redundant

No. of Node Units Connectable

Max. 3/FCU

The total number of the local and remote nodes that can be connected to FCU are 3 or less.

No. of I/O Modules

Max. 8/FCU

Max. 30/FCS

Local Node Connection

When connecting a Local Node to FCU, install ESB Bus Coupler Module (EC401) on FCU.

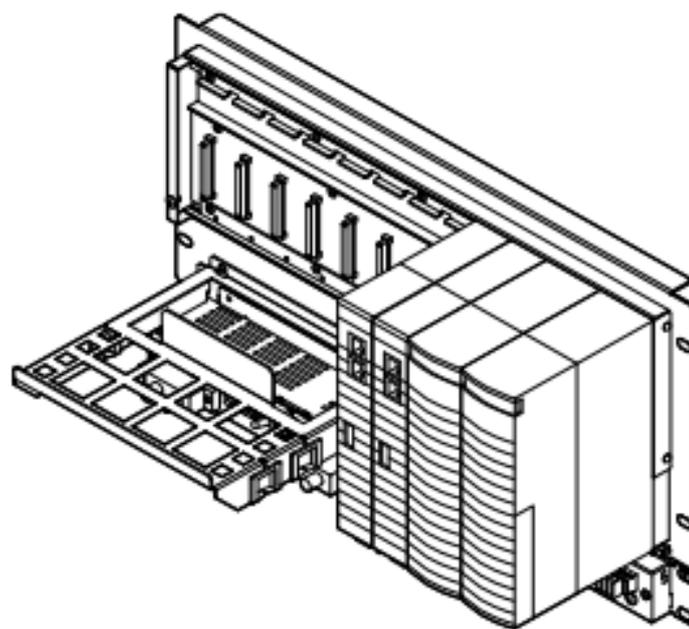
EC401 must be installed in slot 7 or slot 8. To make single configuration, EC401 must be installed in slot 7, and Slot 8 must be empty.

Remote Node Connection

When connecting a Remote Node to FCU, install ER Bus Interface Master Module (EB401) on FCU.

To make single configuration, EB401 must be installed in an odd-number slot, and keep the right side of the installed EB401 empty.

See "ER Bus Interface Master Module (for FIO)" (GS 33Q06Q48-31E) for further information.



[19" Rack Mountable Type FCU]

Power Supply

(specify with Suffix Codes)

100-120 V AC, 50/60 Hz

220-240 V AC, 50/60 Hz

24 V DC

Power Consumption

100-120 V AC: 200 VA (AFF50S/D)

220-240 V AC: 230 VA (AFF50S/D)

24 V DC: 5.5 A (AFF50S/D)

Weight

Approx. 7 kg (AFF50S)

Approx. 8 kg (AFF50D)

Mounting

19" Rack Mounting:

Rack mount (8 x M5 screws)

Insulation bush (accessory)

Connection

Power Supply: M4 screw terminal connection

Grounding: M4 screw terminal connection

Contact Output: M4 screw terminal connection

Приложение Л (продолжение)
(справочное)

Основные характеристики блока управления полевыми устройствами и
модуля связи

■ STANDARD SPECIFICATIONS

The FOUNDATION fieldbus communication module (ALF111) performs as the Link Active Scheduler (LAS) to exchange data with devices compliant with FOUNDATION fieldbus (H1) protocol. The hardware specifications for this module are as shown in the table below.

Table FOUNDATION fieldbus Communication Module Hardware Specifications

Item	Specifications
Model	ALF111
Interface	FOUNDATION fieldbus (low speed voltage mode) 4 ports (1 segment (*1) per port)
Transmission speed	31.25 kbps
Withstanding voltage	From field to system: 1500 V AC/minute
Bus connection (external connection)	• Pressure clamp terminals (removable terminal block with built-in terminators that can be switched on/off. • Connects with terminal board via a dedicated cable.
Installation method	Mounted on ANB10□, ANB11□, AFV30□, AFV40□, or A2FV50□
No. of control I/O channels (*2)	Max. 48 points/segment (Complies with high- and medium-speed scanning cycle by specifying up to 6 points of I/O points as high-speed scanning type on the ER bus.)
No. of fieldbus devices	Max. 32 units per segment (*3) (ALF111 counts as one unit) (*4)
Communication functions	LAS function, Clock master function
Dual-redundancy	Enabled to set up two units of ALF111 installed in the annexed slots in the same node unit.
Current consumption	0.5 A or less
Weight	Approx. 0.40 kg

- *1: A segment is the engineering unit that consists of the sum of field devices that can be connected to a single H1 fieldbus and the ALF111 ports.
- *2: Number of control I/O channels means the sum of parameters to be connected with each internal block of the fieldbus devices.
- *3: Number of fieldbus devices to be connected varies by the conditions such as cable length, power supply capacity, and with or without IS barriers.
- *4: In order to configure dual-redundant communication by setting 2 units of ALF111 in one segment, the maximum 30 units/segment of fieldbus devices can be connected.

■ OPERATING ENVIRONMENT

Hardware Requirements

The FOUNDATION fieldbus communication module runs on the following FCS.

AFV30S, AFV30D, AFV40S, AFV40D, A2FV50S, A2FV50D

Software Requirements

The FOUNDATION fieldbus communication module runs on the control functions of the following FCS.

VP6F1700 Control Function for Field Control Station: for AFV30□/AFV40□
VP6F1800 Control Function for Field Control Station: for A2FV50□

Engineering Requirements

Works on VP6E5100 Standard Builder Function.

Приложение М
(справочное)
(Принцип работы клапана Anderson Greenwood серии 96А)

ANDERSON GREENWOOD SERIES 90/9000 PILOT OPERATED PRESSURE RELIEF VALVES
OPERATION - TYPE 96A VACUUM BREAKER

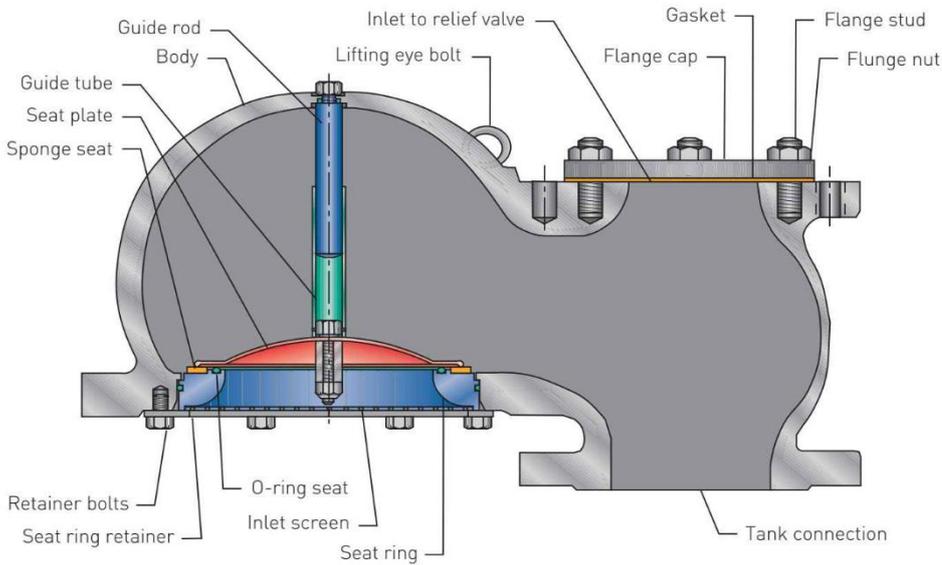
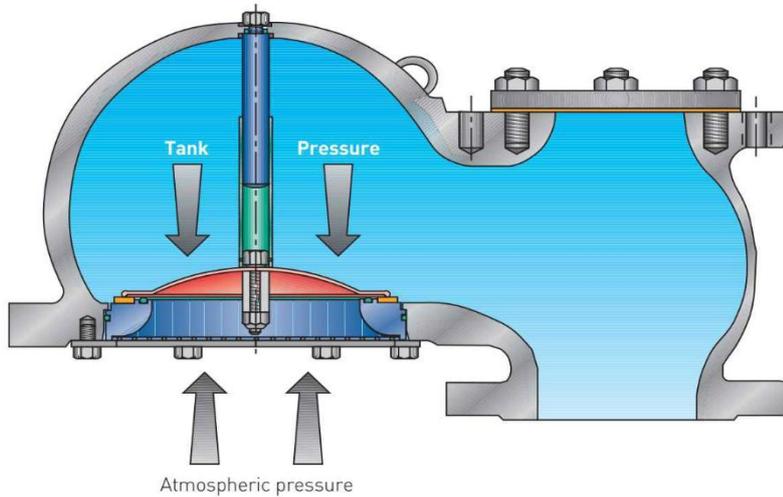
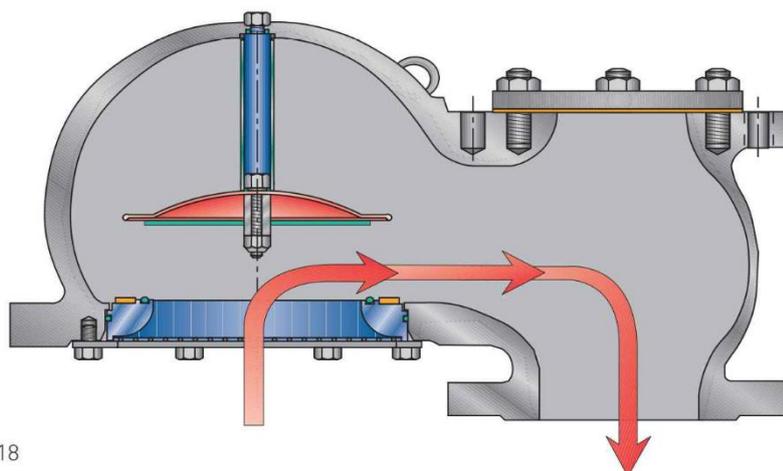


FIGURE 16



VALVE CLOSED
The weight of the pallet and any positive internal tank pressure holds the valve closed.

FIGURE 17



VALVE OPEN AND FLOWING
The tank vacuum creates a pressure differential great enough to overcome the weight of the pallet and the pallet is lifted to the open position.

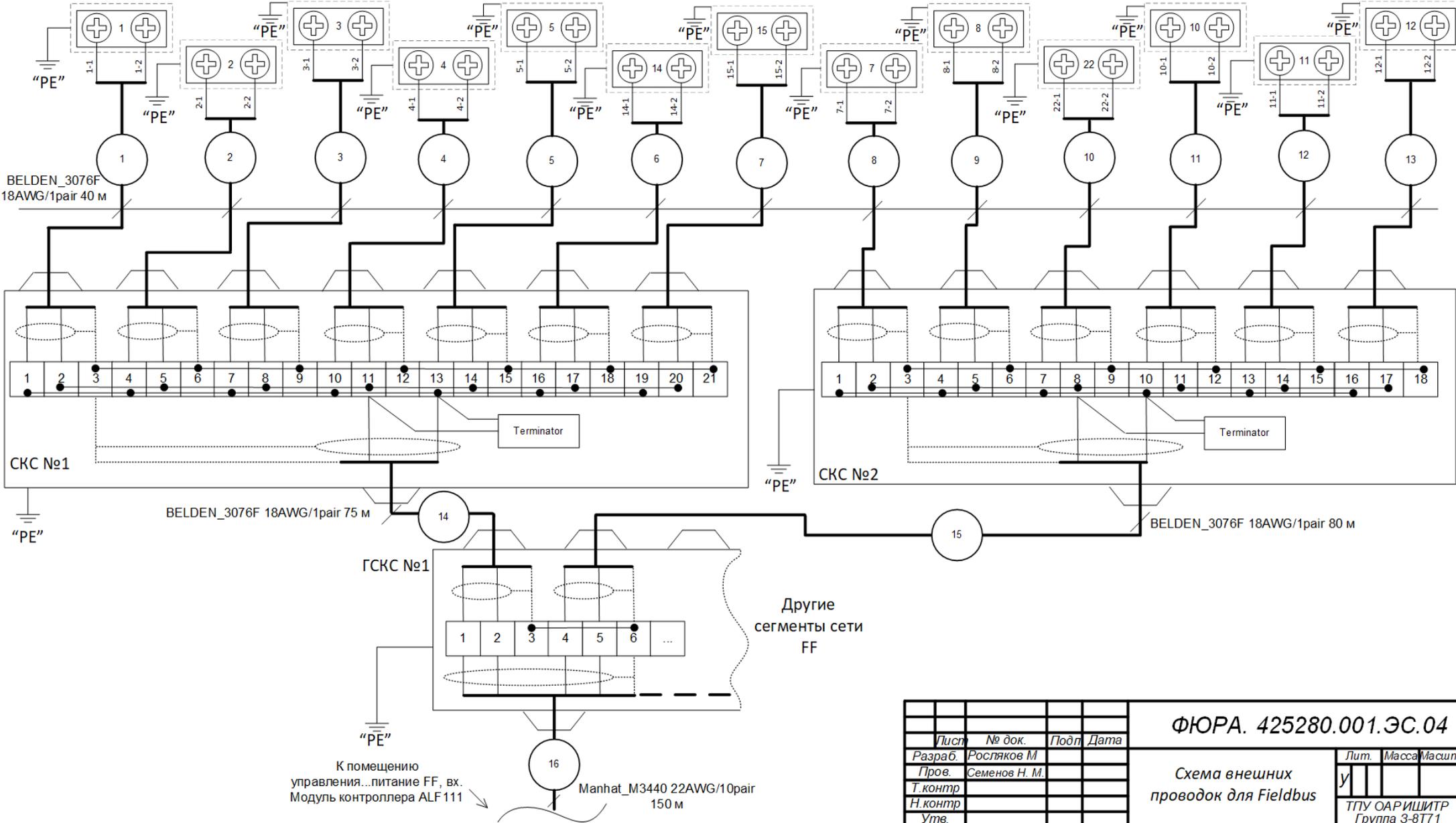
FIGURE 18

Приложение Н
(справочное)
Общее описание полевого коммуникатора 475



Приложение О
(обязательное)
Схема внешних проводок для Fieldbus

Наименование параметра	Давление							Температура			Расход		
Место отбора импульса	Внутренний резервуар	Топливный газа ВД	Внутренний резервуар	Топливный газа ВД	Перепад в резервуаре	Линия подачи СПГ	Линия подачи СПГ	Внешний резервуар	Внутренний резервуар	Нижняя часть внутр. резервуара	Входящий трубопровод	Входящий трубопровод	Входящий трубопровод
Тип датчика	Yokogawa EJA 430A	Fieldvue DVC6200	Yokogawa EJA 430A	Fieldvue DVC6200	Yokogawa EJA 110A	Yokogawa EJA 430A	Fieldvue DVC6200	Yokogawa YTA-320	Yokogawa YTA-320	Yokogawa YTA-320	Yokogawa EJA 110A	Fieldvue DVC6200	Fieldvue DVC6200
Позиция	PT-1	PCV-2	PT-3	PCV-4	PDT-5	PT-14	PCV-15	TT-7	TT-8	TT-22	FT-10	FCV-11	FCV-12



Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Росляков М		
Пров.	Семенов Н. М.		
Т. контр			
Н. контр			
Утв.			

ФЮРА. 425280.001.ЭС.04

Лит. Масса Масштаб

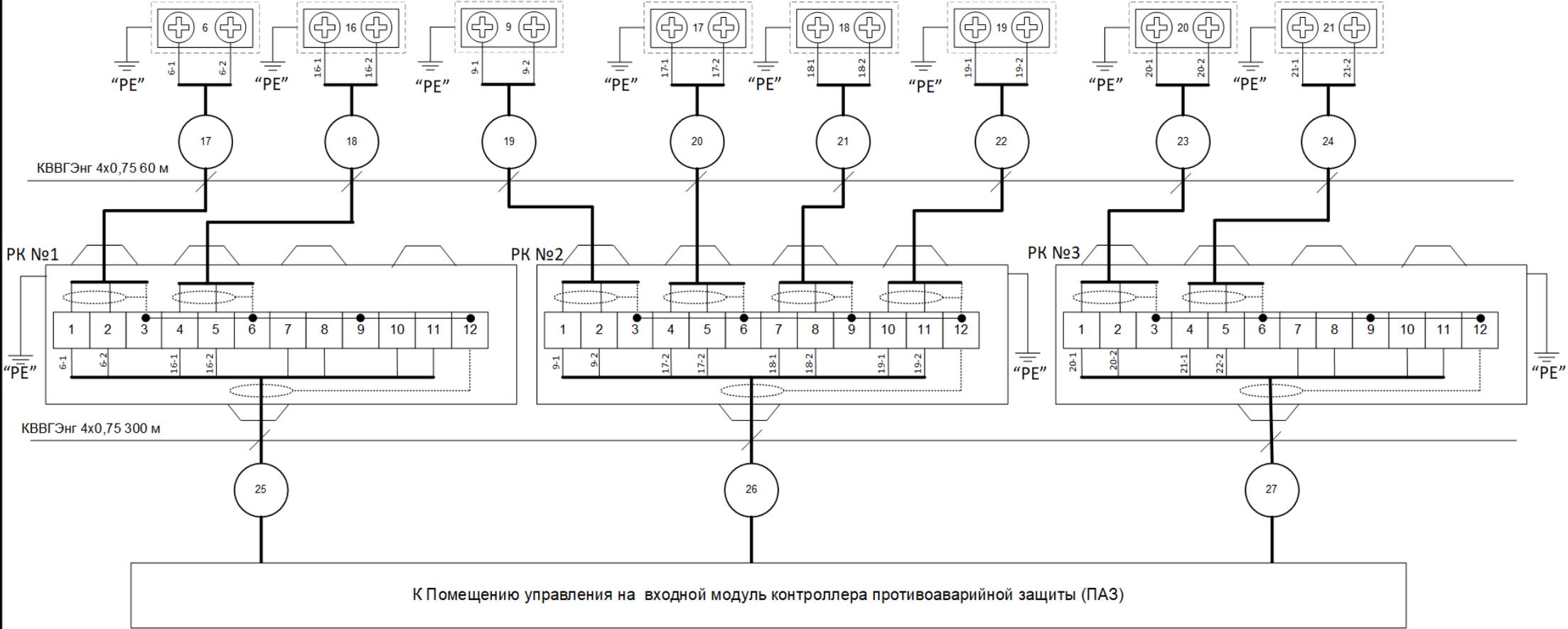
у

Схема внешних проводов для Fieldbus

ТГУ ОАРИШИТР
Группа 3-8Т71

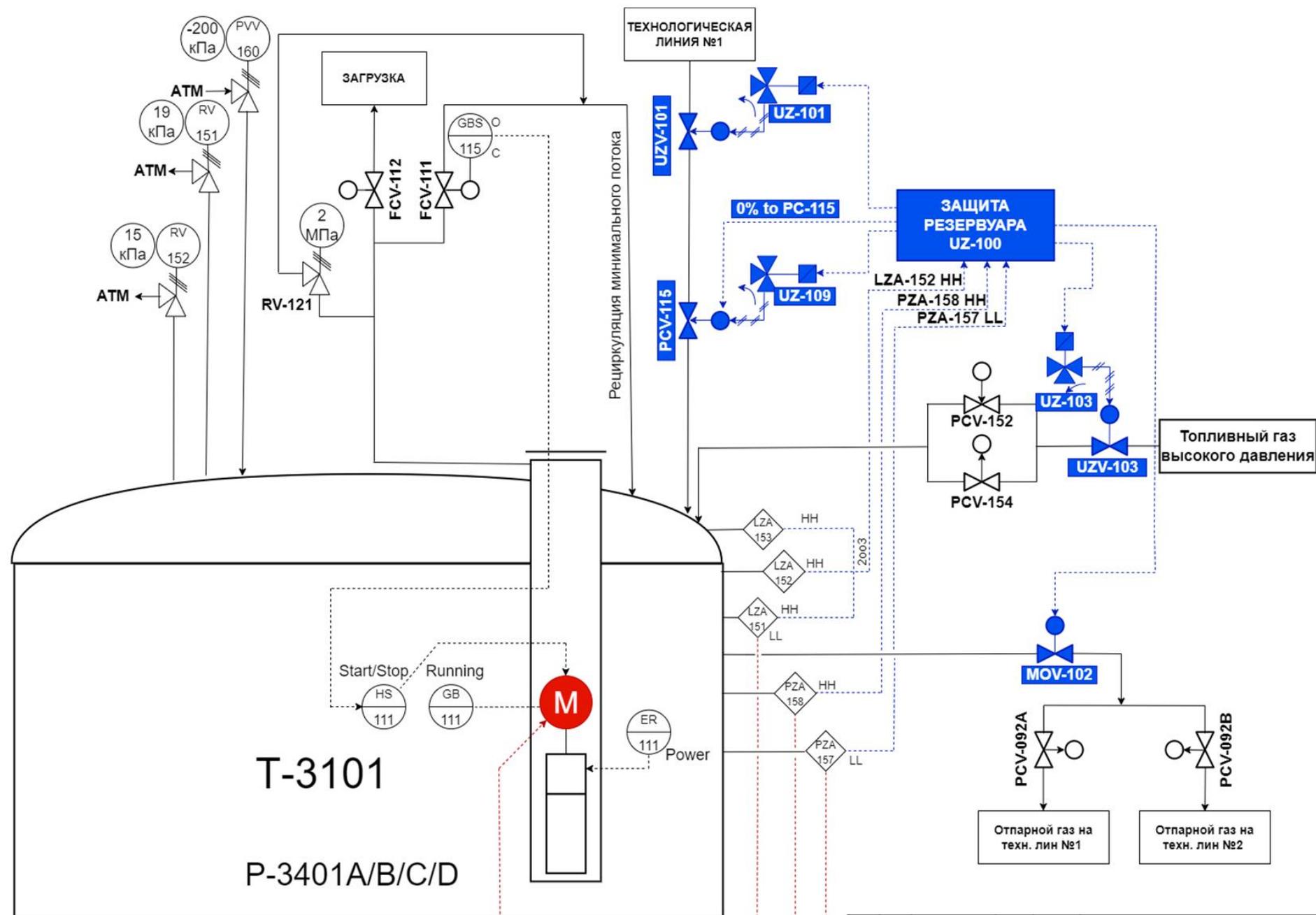
Приложение П
(обязательное)
Схема внешних проводок

Наименование параметра	Отсечной клапан		Уровень				Давление	
	Место отбора импульса	Поддача топливного газа ВД в резервуар	Поддача СПГ в резервуар	Внутренний резервуар	Внутренний резервуар	Внутренний резервуар	Внутренний резервуар	Внутренний резервуар
Тип датчика	Электромагнитный клапан	Электромагнитный клапан	Honeywell ENRAF 854 ATG	Yokogawa EJA 430A	Yokogawa EJA 430A			
Позиция	UZ-6	UZ-16	LT-9	LT-17	LT-18	LT-19	PT-20	PT-21



ФЮРА. 425280.001.ЭС.05			
Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Росляков М.		
Пров.	Семенов Н.М.		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			
Схема внешних проводок			Лит. Масса Масштаб
			у
			ТГУ ОАРИШИТР Группа 3-8Т71

Приложение Р
(обязательное)
Схема ПАЗ



ЗАЩИТА НАСОСА UZ-130

- ← LZA-151 LL
- ← PZA-158 HH
- ← PZA-157 LL

				ФЮРА. 425280.001.ЭС.06			
Лист	№ док.	Подп.	Дата				
Разраб.	Росляков М						
Пров.	Семенов Н.М						
Т. контр							
Н. контр							
Утв.							
				Схема ПАЗ			
				Лит.	Масса	Масштаб	
				У			
				ТГУ ОАРИШИТР Группа 3-8771			

Приложение С
(обязательное)
Диаграмма причин и следствий резервуара СПГ

Приложение Т
(справочное)

Основные характеристики маршрутизатор AVR10D V-net

General Specifications

Model AVR10D
Duplexed V net Router



GS 33K50D10-50E

[Release 5]

■ GENERAL

These Bus Converters connect CENTUM VP Human Interface Stations (HISes) on the Vnet/IP to CENTUM VP/CENTUM CS 3000/CENTUM CS stations on the V net, CENTUM CS 1000 stations on the VL net in other domain.

To connect to CENTUM CS 3000/CENTUM CS System, LHS4450 Multiple Project Connection Package and LHS5450 Multiple Project Connection Builder are required. To connect to CENTUM CS 1000 System, an Ethernet, as well as these packages, is also required.

■ HARDWARE SPECIFICATIONS

For the installation specifications and environmental conditions that are common to the systems, refer to "Integrated Production Control System CENTUM VP System Overview (Vnet/IP Edition) (GS 33K01A10-50E)."

Communication on the Vnet/IP Side

Communication Speed: 100 Mbps, Full Duplex
Connection: UTP cable (CAT5e or better),
RJ45 connector
Interface: 100Base-TX compliance
Max. distance: 100 m (Distance between AVR10D
and Layer 2 switch)

Communication on the V net Side

Communication Speed: 10 Mbps
Connection: Coaxial cable, BNC type
Dual-redundant or single
For CENTUM VP, CENTUM CS 3000 and CENTUM
CS

Communication on the VL net Side

Communication Speed: 10 Mbps
Connection: Coaxial cable, BNC type
Dual-redundant or single
For CENTUM CS 1000

Configuration

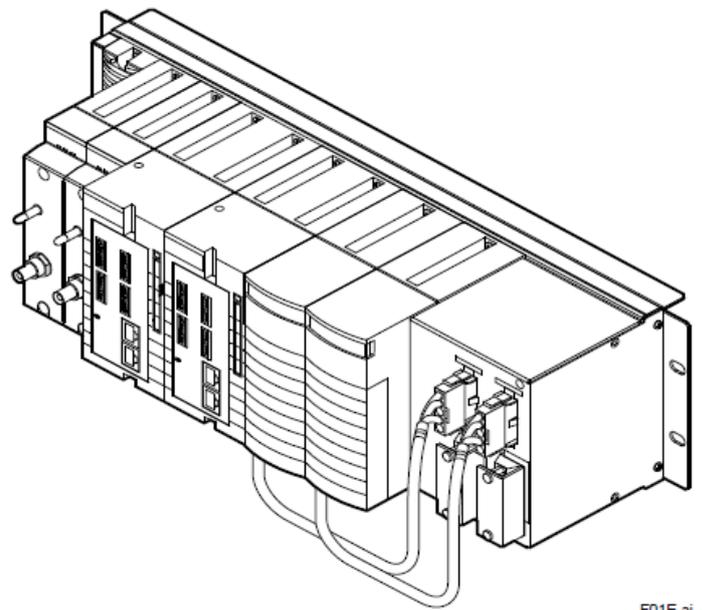
Nest

Mounting

19-inch Rack Mounting:
Rack mount (4 x M5 screws)
Insulation bush (accessory)

Connection

Power Supply: M4 screw terminal connection
Grounding: M4 screw terminal connection
Contact Output: M4 screw terminal connection
V net and VL net Side: T-junction BNC connection
Vnet/IP Side: UTP cable (CAT5e or better)



F01E.ai

Power Supply

(Specify with Suffix Code)

Voltage: 100-120 V AC, Frequency: 50/60 Hz
Voltage: 220-240 V AC, Frequency: 50/60 Hz
Voltage: 24 V DC

Power Consumption

100-120 V AC: 80 VA
220-240 V AC: 110 VA
24 V DC: 1.7 A

Power supply method dual-line or single power line

Weight

Approx. 5.8 kg

Regulatory Compliance

For the detailed information of following standards, see "System Overview (Vnet/IP Edition) (GS 33K01A10-50E)."

Safety Standards

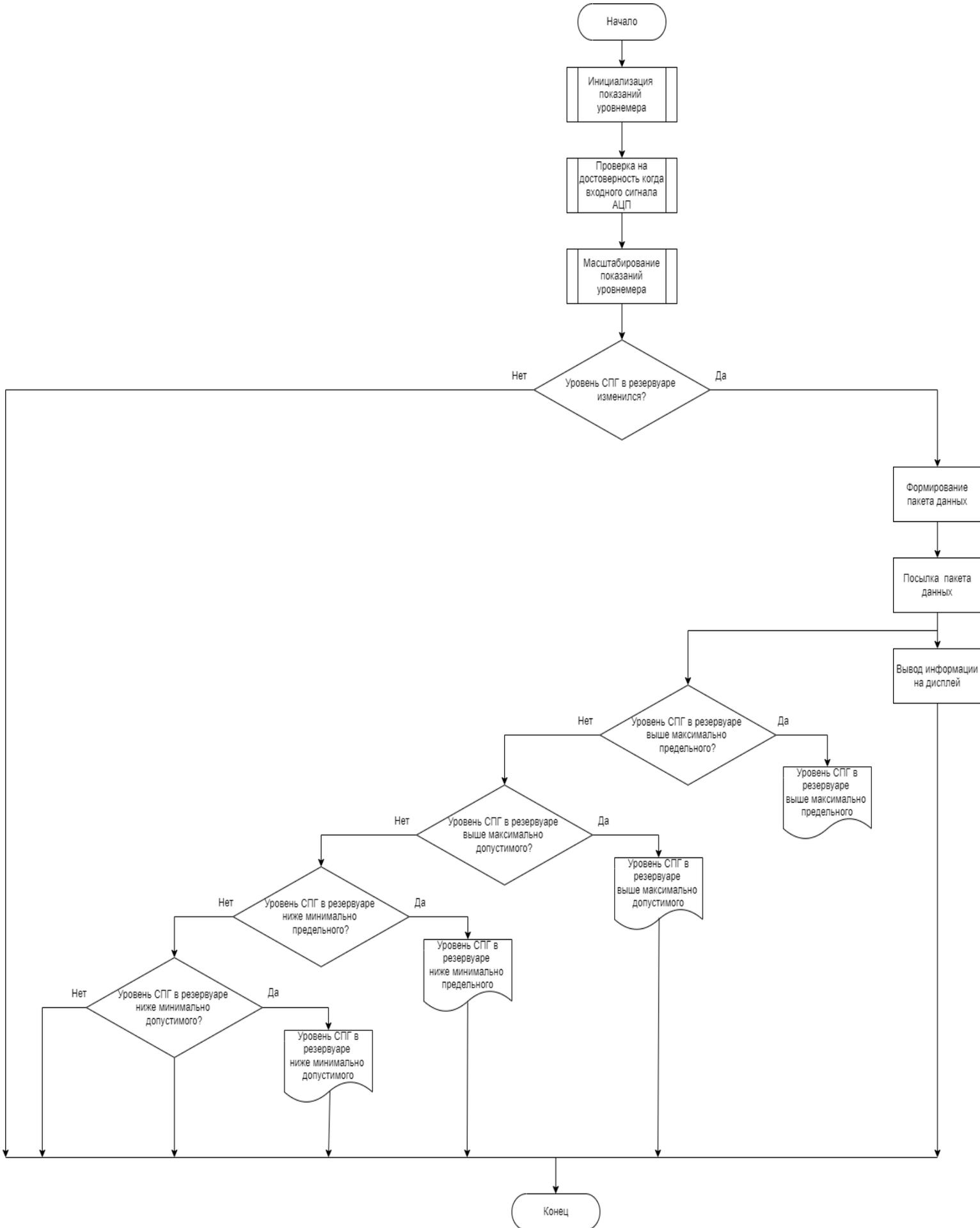
[CSA] (for 100-120 V AC power supply)
[CE Marking] (for 100-120 V AC, 220-240 V AC
and 24 V DC power supply)

EMC Conformity Standards

[CE Marking] (for 100-120 V AC, 220-240 V AC
and 24 V DC power supply)
[C-Tick Marking] (for 220-240 V AC and 24 V DC
power supply)
[KC Marking] (for 100-120 V AC, 220-240 V AC
and 24 V DC power supply)

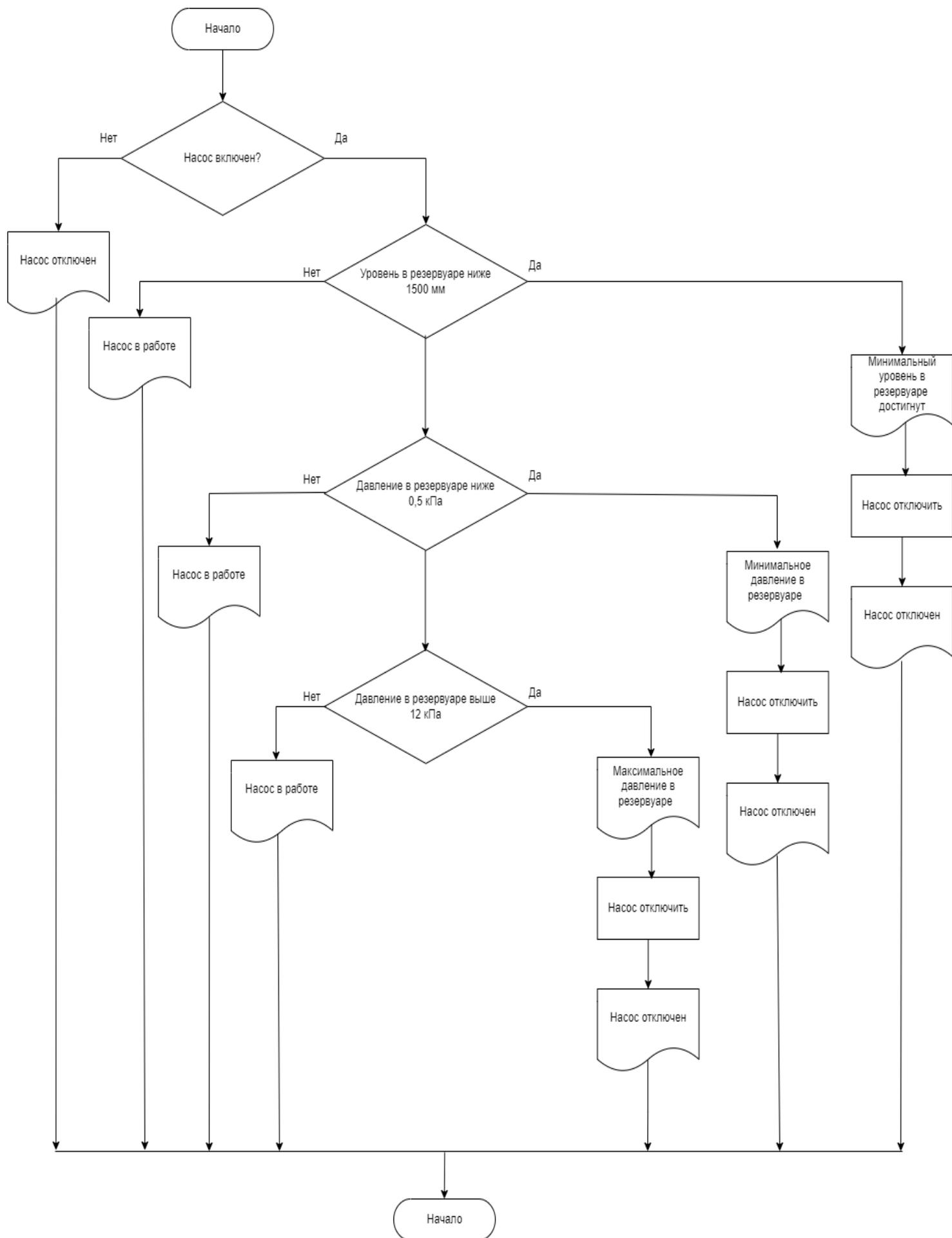
Приложение У
(обязательное)

Алгоритм сбора данных измерений уровня СПГ в резервуаре

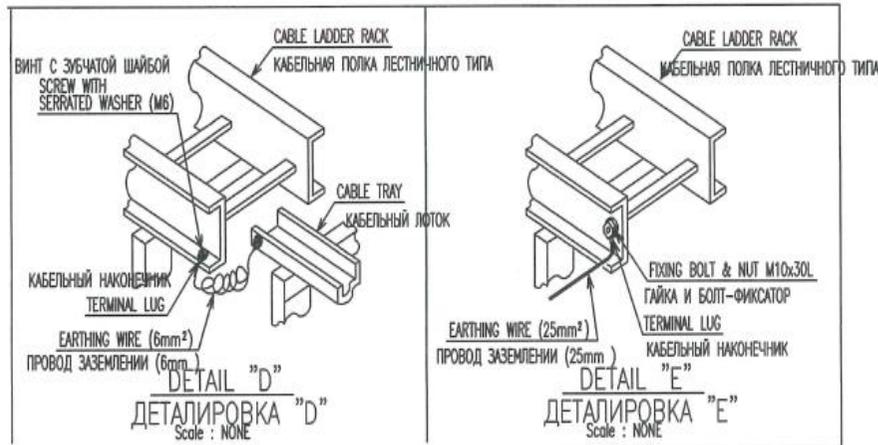
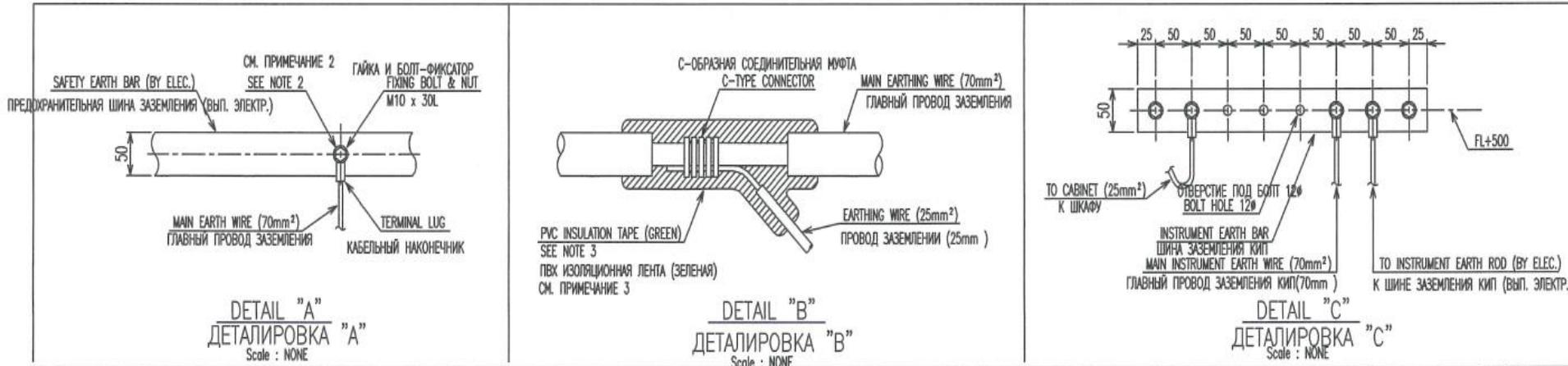


Приложение Ф
(обязательное)

Алгоритм пуска/останова погружного насоса выгрузки СПГ



Приложение X (справочное) Заземление оборудования



ПРИМЕЧАНИЕ:

1. Все провода заземления устанавливаются в полках лестничного типа для силовых кабелей
2. Отверстие под болт выполняется в удобном месте инженерами по КИП
3. Три слоя (мин.) ПВХ изоляционной ленты накладываются в полунахлестку. Лента должна выдаваться минимум на 25 мм от изоляции каждого проводника.

